

DINOSAURES
LES OISEAUX SONT
LEURS BÉBÉS

INFORMATIQUE
SAVOIR SAUVEGARDER
SES DONNÉES

Matière, climat, conscience...

LA FORMULE QUI DECRYPTE LE MONDE

ELLE RÉVOLUTIONNE
TOUTES LES SCIENCES



OGM
L'INTOXICATION ÉTAIT
MÉDIATIQUE !

Europe métro: 4,20 € - DOM surf: 4,80 € - DOM
avion: 5,30 € - BEL: 4,70 € - CH: 8,50 FS - CAN:
5,50 \$ - CAN: 0: 6,90 € - A: 5,50 € - ESP: 5,50 € -
FIN: 6,20 € - GR: 4,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,70 € -
MAR: 6,50 DT - MAY: 6,40 € - TOM: 5/750 A/1400
ESP: PORTUGAL: 4,90 € - TUN: 6,5 DTU

M 02578 - 1142 - F: 4,20 €



LA PASSION AVAIT DÉ MAINTENANT ELLE



www.renault.fr



ON SE SOUVIENT TOUJOURS DE LA PREMIÈRE FOIS OÙ L'ON A VU LA **NOUVELLE RENAULT CLIO**

- Nouveau moteur diesel Energy dCi 90 ch 3,2l/100km et 83g CO₂/km*
- 5 étoiles Euro NCAP**
- Écran tactile multimédia avec navigation de série dès le niveau de finition Expression

*Version optimisée. Consommation (en cycle mixte) et émissions homologuées. Véhicule présenté avec options. Jantes alliage 17" Drenalic commercialisées avant fin 2012. **5 étoiles Euro NCAP obtenues en 2012 sur Renault Clio Energy TCe 90 ch Expression. RENAULT QUALITY MADE : la qualité par Renault.

Renault préconise 

JÀ UNE COULEUR,
A UNE **FORME.**

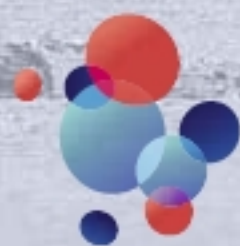


**CHANGEONS DE VIE
CHANGEONS L'AUTOMOBILE**



- ENVIRONNEMENT
- SOCIÉTÉ ET ÉCONOMIE
- VIE HUMAINE

AXA soutient la recherche sur les risques qui nous concernent tous.



Fonds AXA
pour la Recherche
Chercher pour protéger

Prévenir les risques, c'est aussi mieux les connaître. Avec le Fonds AXA pour la Recherche, AXA soutient plus de 300 équipes de chercheurs. Ce qui représente 92 millions d'euros alloués en 5 ans, en France et dans 25 autres pays.

Etude des risques liés au climat, au vieillissement ou aux réseaux sociaux...
découvrez les projets soutenus sur axafrance.fr/fonds-recherche

réinventons / notre métier



À TOUTES VITESSES



BOSON Combien de temps a-t-il fallu aux physiciens pour dire que “oui”, “définitivement oui”, le boson de Higgs existe? Et qu’il existe comme prévu par leurs modèles. Après combien de vérifications et

d’échanges contradictoires entre esprits éclairés? Il aura fallu quelques années pour élaborer le dispositif d’où ce boson pourrait surgir et de longs mois pour s’assurer que sa découverte en est bien une. C’est désormais

une certitude à 99,9999 %. La physique fondamentale sait prendre le temps de progresser avec assurance. D’ailleurs personne ne conteste la solidité de ce résultat, et cela ne risque pas d’arriver de sitôt (p. 76).

OGM Dans le cas de la désormais très controversée étude qui vient de conclure à la toxicité des OGM, tout est allé trop vite. Beaucoup trop vite. Le tapage médiatique a même précédé la publication de l’étude. La presse écrite a tiré la première, les politiques ont dit leur émotion sur le champ et les journaux télévisés de midi et du soir ont fait le reste. Les conclusions sans appel furent livrées

sur un plateau avant même que quiconque d’un tant soit peu avisé ait posé un œil sur la publication! Étonnant, non? C’est qu’ils étaient sacrément photogéniques ces petits rats blancs déformés pas des tumeurs plus grosses qu’eux... L’opinion est sous le choc. Selon un plan de communication parfaitement orchestré, livres et films n’allaient pas tarder à suivre. Ouf!...

Un mois (une éternité) après cette folle agitation, nous revenons sur cette étude: disons-le tout net, ses conclusions résistent très mal à une lecture attentive. Il n’y avait vraiment pas de quoi s’étouffer en mangeant ses pop-corn. En terrain miné, l’excès de vitesse, ça ne pardonne pas. Mais dans l’opinion, le mal est fait. C’est comme ça. Tout est vraiment allé trop vite (p. 68).

BAYES Il en aura fallu du temps! Voici une formule mathématique qui a dû patienter pendant des siècles avant d’enflammer les esprits des scientifiques. Non pas qu’elle manque d’intérêt; tous ceux qui l’approchent se disent impressionnés par sa portée considérable. Non pas qu’elle ait été oubliée: elle figure au programme des études secondaires depuis des lustres. Alors quoi? Il se trouve que, d’apparence bête, cette

formule posée par le pasteur britannique Thomas Bayes au XVIII^e siècle n’a pas son pareil pour éclairer d’une lumière nouvelle les grandes questions de la science d’aujourd’hui. Des sciences de l’esprit à la physique des particules en passant par le réchauffement climatique, elle ouvre de nouvelles portes partout où on manque de données expérimentales. Enfin un raz-de-marée porteur d’espoirs! Et pas médiatique pour un sou (p. 48).

CORBIS - FOTOLIA

LA FORMULE QUI DÉCRYPTE LE MONDE

VIÈLE DE TROIS CENTS ANS, ELLE RÉVOLUTIONNE TOUTES LES SCIENCES

38

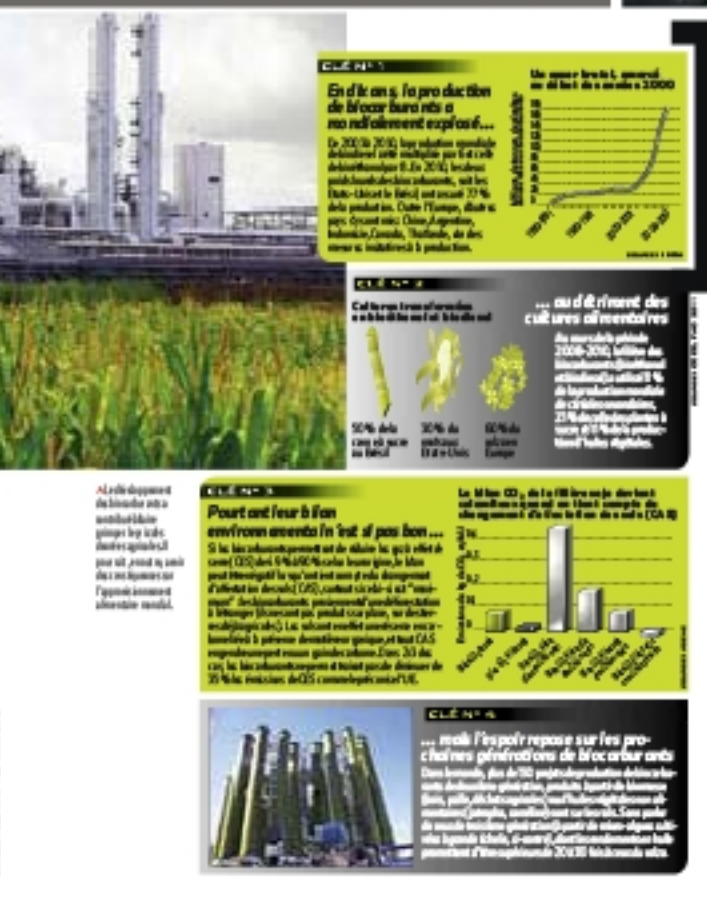


BIOCARBURANTS

POURQUOI FAIT-ON MACHINE ARRIÈRE ?

Et si les biocarburants, comme l'éthanol de maïs ou le biodiesel à base d'huile d'olive, ne sont pas la solution miracle pour réduire les émissions de CO₂, pourquoi fait-on machine arrière ?

C'est une question qui se pose de plus en plus. En effet, les biocarburants ont été présentés comme une solution miracle pour réduire les émissions de CO₂ et lutter contre le réchauffement climatique. Mais, de plus en plus, on se rend compte que ce n'est pas si simple. En effet, la production de biocarburants nécessite de grandes quantités d'eau, d'engrais et de pesticides. De plus, la culture des plantes destinées à produire des biocarburants peut entraîner la déforestation et la perte de biodiversité. Enfin, la combustion de biocarburants n'est pas forcément plus propre que celle des carburants fossiles.



32

48

ACTUS

- 10 **LABOS**
On voit enfin les liaisons atomiques; l'enfance de l'Univers a bien été explosive; le rêve peut être orienté par des sons; on sait inverser le mouvement des vagues; l'intelligence serait d'abord une affaire de connexions, etc.
- 18 **ON EN REPARLE**
Lignée humaine: les dates concordent enfin
- 24 **TERRE**
Détruire la forêt assèche l'Amazonie; les glaciers himalayens ne se portent pas si mal, etc.
- 30 **ON TENAIT À VOUS DIRE**
L'Arctique ne sera pas la nouvelle terre promise !

- 32 **LES CLÉS POUR COMPRENDRE**
Biocarburants: pourquoi fait-on machine arrière ?
- 34 **MÉDECINE**
Une thérapie génique a pu restaurer l'odorat; la cigarette renforce les mauvaises bactéries, etc.
- 40 **FOCUS**
Dengue: un vaccin se profile
- 42 **TECHNOS**
C'est le premier vaisseau sanguin conçu *in silico*!, etc.
- 46 **IDÉE NEUVE**
"J'aimerais faire pousser les composants électroniques comme des coraux"

FONDAMENTAL

- À LA UNE
- 48 **LA FORMULE QUI DÉCRYPTE LE MONDE**
VIÈLE DE 300 ANS, ELLE RÉVOLUTIONNE TOUTES LES SCIENCES
- 68 **ÉVÈNEMENT**
OGM: L'INTOXICATION MÉDIATIQUE
- 76 **ANALYSE**
Trois mois après la découverte du boson de higgs, COUP DE BLUES CHEZ LES PHYSICIENS ?

FOTOLIA - DR

Une formule magique ! S'appliquant à n'importe quel phénomène, elle produit des résultats, livre des découvertes, établit des vérités. Mieux : des neurologues y voient la clé de notre façon de penser ! Pourtant, cette formule est simplissime et connue... depuis trois siècles. Oui, mais ce n'est qu'aujourd'hui qu'elle dévoile son incroyable puissance. Son nom ? La formule de Bayes.

124

EN PRATIQUE
ZOOM DU MOIS
F. Thevenaz

Sauvegarde informatique

Sachez préserver votre patrimoine numérique

L'urgence d'un bon plan de sauvegarde des données est évidente. Mais comment le mettre en œuvre ?

Les 5 types de supports

Les supports de sauvegarde sont nombreux. Voici les 5 types de supports les plus utilisés :

- 1. Les supports physiques (CD, DVD, Blu-ray) : ils sont faciles à utiliser et à stocker, mais ils sont sensibles aux rayures et aux dommages physiques.
- 2. Les supports cloud : ils sont faciles à utiliser et à stocker, mais ils sont sensibles aux pannes de service et aux coûts élevés.
- 3. Les supports externes (disques durs, clés USB) : ils sont faciles à utiliser et à stocker, mais ils sont sensibles aux pannes de service et aux coûts élevés.
- 4. Les supports optiques (disques durs, clés USB) : ils sont faciles à utiliser et à stocker, mais ils sont sensibles aux pannes de service et aux coûts élevés.
- 5. Les supports magnétiques (disques durs, clés USB) : ils sont faciles à utiliser et à stocker, mais ils sont sensibles aux pannes de service et aux coûts élevés.

Le volume des données

Le volume des données augmente rapidement. Voici les chiffres :

- En 2010, le volume des données était de 1,2 exaoctets.
- En 2015, le volume des données était de 1,2 exaoctets.
- En 2020, le volume des données était de 1,2 exaoctets.

OGM
L'INTOXICATION
MÉDIATIQUE

PAR EICH ANDRÉ, FLORENZA L'ASSAGNI ET

Les OGM sont-ils vraiment si dangereux ? Les médias nous le font croire. Mais la réalité est-elle vraiment si alarmante ?

Dans le monde des médias, les OGM sont souvent présentés comme une menace. Mais la réalité est-elle vraiment si alarmante ?

68



142

EN PRATIQUE

- 80 **ENQUÊTE**
CHOLESTÉROL : ET SI LE COMBATTRE PROTÉGÉAIT DU CANCER...
- 86 **TENDANCE**
LA REVANCHE DES VIEILLES TECHNOS
- 98 **DÉCOUVERTE**
L'ÉNIGME DE LA COURONNE SOLAIRE ENFIN RÉSOLUE
- 106 **AVANT-PREMIÈRE**
OISEAUX : ILS CACHERAIENT L'ENFANCE PERDUE DES DINOSAURES

- 110 **LE POINT SUR...**
90 ans après la découverte de Toutankhamon... LES NOUVEAUX SECRETS DE LA VALLÉE DES ROIS
La Vallée des Rois semblait avoir dévoilé tous ses mystères. Pourtant, la tombe exhumée en janvier relance l'espoir de découvrir un trésor exceptionnel, à l'image de celui de Toutankhamon en 1922...

LE POINT SUR...

LES NOUVEAUX SECRETS DE LA VALLÉE DES ROIS

Après 90 ans, la Vallée des Rois semble avoir dévoilé tous ses mystères. Pourtant, la tombe exhumée en janvier relance l'espoir de découvrir un trésor exceptionnel, à l'image de celui de Toutankhamon en 1922...

- 122 **BON À SAVOIR**
- 124 **ZOOM DU MOIS**
Sauvegarde informatique : sachez préserver votre patrimoine numérique
- 132 **QUESTIONS / RÉPONSES**
- 138 **TECHNOFOLIES**
Spécial photos
La lentille souple qui va révolutionner la prise de vues ; un reflex plein format à viseur électronique ; le compact aux allures de smartphone ; un hybride haut de gamme, etc.
- 144 **LE CIEL DU MOIS**

- 146 **Contre-sommaire**

Un encart, "L'Homme moderne-Trésors du patrimoine" de 24 pages "est jeté en 4° de couverture sur tous les exemplaires de la diffusion abonnés France métropolitaine. Deux encarts "Bose" et "S&V Catalogue - S&V Idées cadeaux" sont jetés en 4° de couverture sur tous les exemplaires de la diffusion abonnés France métropolitaine.

Nous créons de la chimie pour que le compost aime le plastique.



La plupart des plastiques ne sont pas biodégradables. Ce n'est pas le cas des plastiques ecovio® de BASF, qui disparaissent complètement lorsqu'ils sont compostés dans des conditions contrôlées. L'utilisation de sacs compostables pour ramasser les déchets organiques rend leur élimination plus propre et pratique. Plutôt que de terminer dans une déchetterie, ils se transforment en précieux compost. Quand le sac plastique que vous utilisez aujourd'hui est synonyme de futur plus propre pour l'environnement, c'est parce que, chez BASF, nous créons de la chimie.

www.wecreatechemistry.com

 **BASF**

The Chemical Company

Gravitation contre expansion

Dans le n° 1140 de septembre 2012, p. 78, vous nous racontez comment la galaxie d'Andromède va entrer en collision avec la Voie lactée. Mais comment expliquer que ces deux galaxies soient amenées à se rencontrer, alors que la théorie de l'expansion de l'Univers prédit que toutes les galaxies s'éloignent les unes des autres? *Fernand Tiers, Marcq-en-Barœul (59)*

S&V Ce qui vous paraît ici contradictoire est en réalité une question d'échelle. L'Univers est en effet structuré par deux phénomènes, l'un local, l'autre cosmologique: la force gravitationnelle, qui attire les masses proches les unes vers les autres; et l'expansion, qui se manifeste par une dilatation de l'espace lui-même. A "courte distance",



disons de l'ordre de quelques millions d'années-lumière, c'est la gravité qui domine et entraîne le rapprochement de ces deux galaxies. En revanche, plus les objets

massifs sont lointains, moins la gravitation s'exerce, et plus l'expansion de l'Univers, entamée depuis le big bang il y a 13,7 milliards d'années, se manifeste.



S&V manipulé par les puissances nucléaires?

J'ai été très choqué par le profond cynisme du dossier "Le point sur... l'arme atomique" publié dans le n° 1139 (août 2012, p. 110). Vous reprenez comme parole d'Evangile les informations occidentales sur l'Iran. Qui peut bien avoir l'idée de faire de l'analyse à vocation "scientifique" sur un domaine en proie à tant de manipulations politiques? Vous y présentez la

France, la Grande-Bretagne et les Etats-Unis comme trois blanches colombes et l'Inde, le Pakistan, Israël et la Corée du Nord comme autant de méchants à surveiller. C'est pourtant le gouvernement américain qui a, lui seul, utilisé l'arme atomique... Vous semblez soutenir les positions de l'ONU, ce n'est pas ce que nous attendons de *Science & Vie*.

Frédéric Castello, Rochefort (17)

S&V Notre dossier consacré aux armements atomiques n'avait pas pour objectif de distribuer les bons et les mauvais points, ni de définir qui fait partie du camp des "gentils" ou de celui des "méchants". Le but était de montrer que le "club des puissances atomiques" est

tout sauf transparent, et qu'il est aujourd'hui extrêmement difficile (tout comme cela l'était d'ailleurs auparavant, ainsi que l'expose l'article consacré au "projet Manhattan") de le rejoindre en secret. Cela, pour différentes raisons techniques que le dossier avait pour vocation de détailler. Dire que les Etats-Unis, la France et la Grande-Bretagne consentent à une relative transparence sur leurs arsenaux nucléaires ne vaut en rien approbation de leur politique de dissuasion. C'est juste le constat que ces trois nations estiment ne pas courir un grand risque à dévoiler aujourd'hui un arsenal de toute façon déjà largement connu. Contrairement à ce que vous avez cru percevoir, nous n'accordons pas plus de crédit au discours des uns ou des autres. Ce dossier ne fait que dresser un état des lieux de ce qui est aujourd'hui connu ou mis en doute par l'ensemble

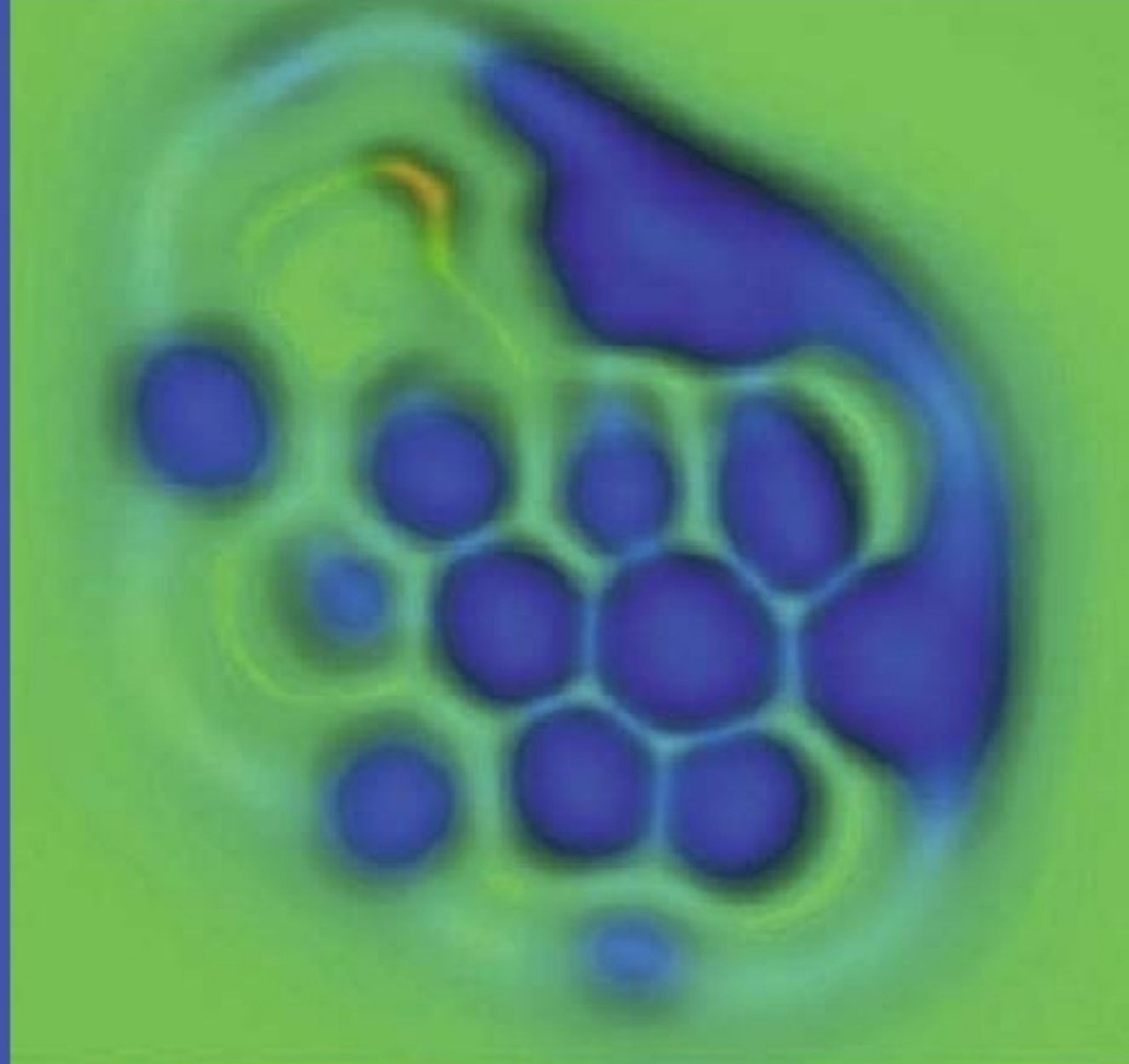
de la communauté internationale sur la possession de l'arme atomique par différents pays ou leurs efforts pour l'obtenir. Et détaille, en parallèle, les techniques utilisées par les uns et les autres, soit pour développer en secret une arme nucléaire, soit pour débusquer une telle intention chez autrui.

La boutique
SCIENCE & VIE
NOUVEAU!
WWW
laboutiquescienceetvie.com

Livres
Idées cadeaux
Objets scientifiques ou insolites

lactus labos

▲ Des chercheurs ont réussi à visualiser les liaisons chimiques (en vert clair), fins nuages d'électrons qui lient les atomes. Sur ces deux molécules d'hydrocarbures, apparaît en rouge et en bleu le vide entre les atomes.



CHIMIE

ON VOIT ENFIN LES LIAISONS ATOMIQUES

Via un microscope à force atomique, une équipe du centre de recherche d'IBM à Zurich (Suisse) est parvenue à voir le nuage d'électrons de quelque 0,1 nanomètre ($1 \text{ nm} = 10^9 \text{ m}$) qui lie deux atomes entre eux au sein d'une molécule d'hydrocarbure, et même à le mesurer, distinguant ainsi les simples, doubles et triples liaisons. "Des mesures avaient pu être réalisées précédemment avec des rayons X sur des cristaux, mais elles ne donnaient que des valeurs moyennes sur des centaines d'atomes, précise André Gourdon, chimiste au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales de Toulouse, qui a participé à l'expérience.

Ici, nous voyons distinctement chaque liaison chimique!" Pour réussir ce tour de force, les chercheurs ont affublé leur microscope à force atomique d'une pointe en monoxyde de carbone. Oscillant sous l'effet des charges des électrons qui lient les atomes d'une molécule d'hydrocarbure entre eux, la pointe a joué le rôle d'un amplificateur, dévoilant avec précision la longueur de la liaison chimique à 0,003 nanomètre près, soit le dix millionième de l'épaisseur d'un cheveu. Un nouveau terrain de jeu s'ouvre pour les chimistes et les physiciens: armés de ce nouvel outil, ils vont enfin pouvoir étudier l'origine de la réactivité des matériaux. **M.F.**

COSMOLOGIE

L'ENFANCE DE L'UNIVERS A BIEN ÉTÉ EXPLOSIVE

Les premières étoiles ont modelé l'Univers en un temps record. Grâce au South Pole Telescope installé en Antarctique, l'équipe d'Oliver Zahn de l'université de Berkeley (Etats-Unis) a réussi à dater la réionisation. Il s'agit de ce moment de l'enfance de l'Univers où celui-ci est devenu transparent, quand les bouffées de rayons ultraviolets émises lors de l'explosion des premières étoiles ont scindé les atomes de l'opaque gaz d'hydrogène qui baignait l'espace. Et ils ont découvert que cette période a été bien plus soudaine que prévu. *"En observant les motifs du rayonnement cosmologique émis par l'Univers alors qu'il était âgé de 380 000 ans, nous avons*

pu y distinguer l'empreinte de bulles d'hydrogène ionisé qui grossissaient déjà, en déduire leur mouvement et ainsi, évaluer la durée et le début de la réionisation", détaille le chercheur. Verdict: elle a commencé 250 millions d'années après le big bang et n'a duré que 250 millions d'années, alors que les modèles tablaient sur 750 millions d'années. Pour expliquer la brutalité de l'événement, les chercheurs invoquent de monstrueuses galaxies, peuplées d'étoiles 300 fois plus massives et des millions de fois plus brillantes que le Soleil, qui se seraient formées par millions au tout début de l'Univers, avant de finir par exploser en quelques millions d'années. **M.F.**

► Le South Pole Telescope a permis de mieux dater la réionisation des débuts de l'Univers.

OPTIQUE

LA COULEUR DE CE FRUIT NE DOIT

Très prisé des oiseaux qui l'utilisent pour séduire et décorer leur nid, *Pollia condensata*, un fruit africain brillant d'un bleu métallique, possède les couleurs les plus intenses de la nature. C'est ce qu'affirment des chercheurs britanniques (université de

Cambridge), pour qui son éclat bleuté n'est pas dû à des pigments, comme la plupart des couleurs autour de nous, mais à la composition de son enveloppe. Celle-ci comporte plusieurs couches de cellules entourées de cellulose, empilées et orientées





RIEN AUX PIGMENTS

différemment de manière à courber puis réfléchir certaines composantes de la lumière – le bleu majoritairement, parfois le vert et le rouge, selon l'épaisseur des couches. D'où son iridescence, semblable à celle de certains scarabées. **G.S.**

en
bref

ON APPREND EN DORMANT !

La preuve est faite : 28 personnes, à qui des neurologues israéliens ont fait écouter durant leur sommeil des sons associés à des odeurs soit plaisantes soit déplaisantes, ont réagi ensuite à l'écoute de ces seuls sons. En respirant profondément (odeurs plaisantes) ou brièvement (odeurs déplaisantes), alors qu'elles étaient encore endormies... et même après leur réveil. **V.G.**

L'ALBATROS, AS DU VOL PLANÉ

Il peut parcourir des milliers de kilomètres parce qu'il ne reste jamais à l'horizontale, d'après des chercheurs allemands : toutes les 15 secondes, il se soulève de 15 m, face au vent, puis se tourne dans le sens du vent pour descendre au raz de l'eau. Ainsi, il n'a quasiment jamais à battre des ailes. **E.A.**

DUO COSMIQUE BIEN ENTOURÉ

C'est établi : les étoiles doubles peuvent avoir des systèmes planétaires. Selon des astronomes américains, Kepler-47, avec ses deux étoiles (l'une semblable au Soleil), comporte au moins deux planètes, plus grosses que la Terre et inhabitables. Voilà qui accroît tout de même la possibilité de trouver de la vie ailleurs : la plupart des étoiles vivent en couple. **V.G.**



BIOLOGIE

ON SAIT POURQUOI LA GROSSESSE DURE NEUF MOIS

Longtemps, on a cru que les neuf mois de gestation de notre espèce étaient un compromis de l'évolution : le développement du fœtus demanderait plus de temps, mais le bassin de la femme ne permet pas d'accoucher d'un bébé plus gros. Ce qui expliquerait pourquoi les nouveau-nés paraissent si peu habiles par rapport aux petits des autres primates... Mais une nouvelle étude faite par l'équipe de Holly Dunsworth, de l'université de Rhode Island, dément cette théorie, appelée "le dilemme obstétrique". Ce n'est pas la taille du bassin qui limiterait la grossesse, mais le métabolisme maternel. En étudiant la durée de la gestation et la taille de la mère chez les grands primates, les chercheurs se sont aperçus que la gestation humaine est comparable à celle des primates de la même taille, voire plus longue. Et *via* de récentes études sur la mécanique et l'énergétique de la marche, ils ont conclu que la marche ne serait pas compliquée par un bassin plus large. Mais il semble exister une limite à l'énergie que la mère peut dépenser chaque jour pour nourrir son fœtus : c'est lorsque la demande métabolique atteint le double de sa valeur de base que l'accouchement se déclenche. **F.G.**

PNAS - DUSONG-VAN - BSIP

< Certaines argiles martiennes (zones claires) se seraient forgées par refroidissement de lave, et non à cause de la présence d'eau.

PLANÉTOLOGIE

L'EAU A COULÉ SUR MARS PLUS TARD QUE PRÉVU

La planète rouge pourrait avoir été hospitalière moins longtemps que l'on pensait. Une équipe franco-américaine vient d'analyser les argiles de météorites martiennes, et a découvert qu'elles présentaient de grandes similitudes avec des roches d'origine magmatique récoltées sur l'atoll de Mururoa, dans l'océan Pacifique. "La composition isotopique de ces échantillons nous dit que l'argile qu'ils contiennent n'est pas

le résultat d'une altération par un climat chaud et humide, et donc de la présence d'eau liquide, comme on le pensait jusque-là, détaille Alain Meunier, qui a dirigé les recherches à l'université de Poitiers. En fait, ces argiles se sont formées lors du refroidissement de laves riches en eau." Ainsi, entre -4,5 et 4 milliards d'années, la planète rouge pourrait avoir été couverte d'une gigantesque mer de magma, brûlante et stérile. Et c'est

seulement il y a 3 milliards d'années que des océans se seraient formés, creusant les lacs, les rivières et déposant les sédiments observés par les sondes spatiales... Mais comme s'empresse de le préciser Alain Meunier, "cela laisse un milliard d'années durant lequel des molécules organiques complexes ont pu se former en présence d'eau liquide et donner naissance à une vie. C'est largement suffisant!"

M.F.

NEUROLOGIE

LE RÊVE PEUT ÊTRE ORIENTÉ PAR DES SONS

Nos rêves peuvent être orientés en fonction des sons perçus durant notre sommeil: c'est ce qu'ont montré, sur des rats, deux chercheurs du MIT (Etats-Unis). Les rongeurs ont d'abord appris à associer un son avec une portion du labyrinthe dans lequel ils étaient entraînés. La nuit, alors qu'ils rêvaient de leurs aventures du jour, l'équipe du MIT a diffusé les différents sons, et constaté que les rats se mettaient alors à rêver de la portion du labyrinthe correspondante à chacun. Cette découverte pourrait ainsi permettre de sélectionner, bloquer ou modifier nos souvenirs.

G.S.

ARCHÉOLOGIE

Voici peut-être les plus vieilles allumettes connues

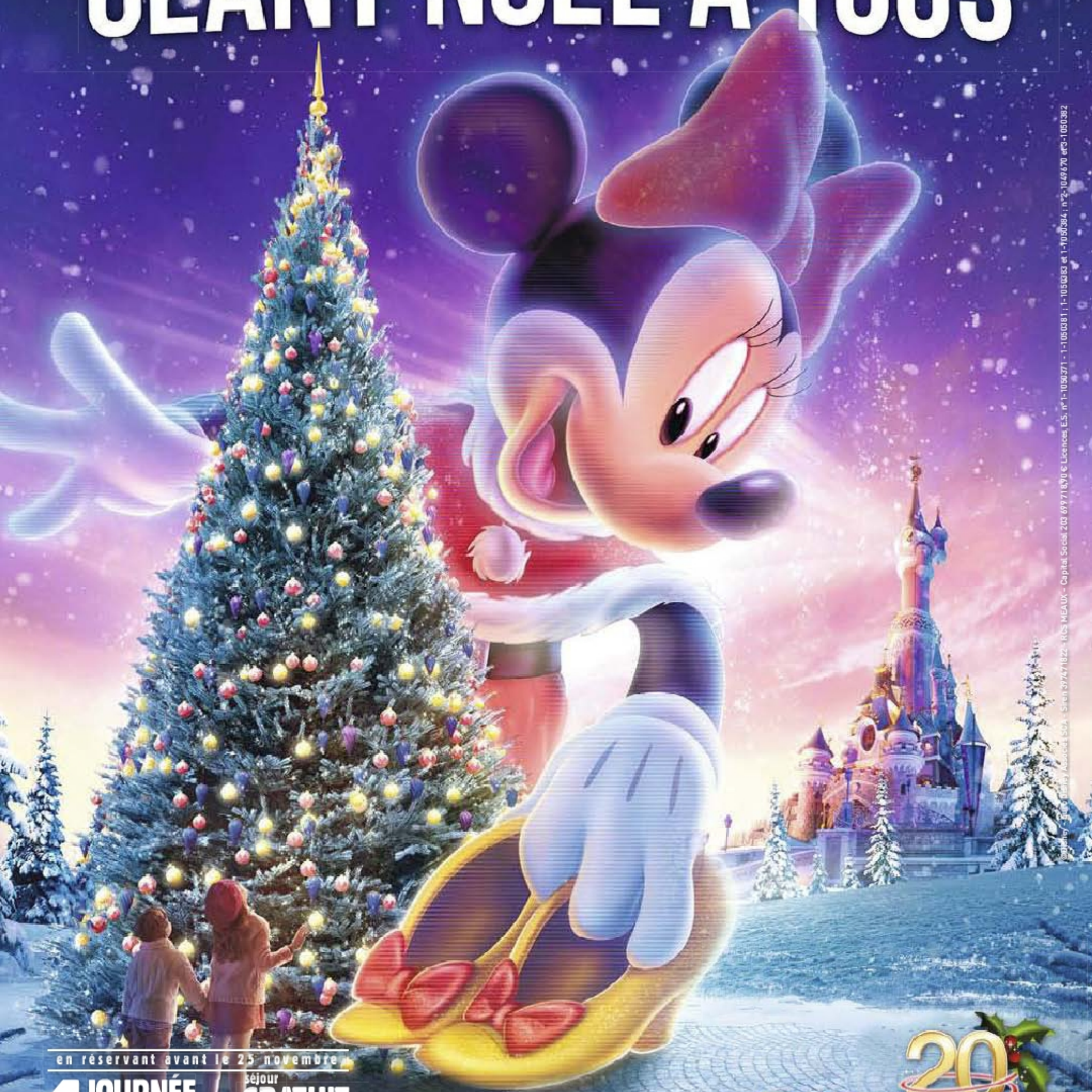
Pour les archéologues, ces mystérieux cylindres de pierre de 3 à 6 cm de long, vieux de 8 000 ans, découverts dans la vallée du Jourdain (Israël) dans les années 1950, étaient des objets de culte. Mais une équipe de l'université hébraïque de Jérusalem les a examinés de près: leurs extrémités coniques portent des marques de friction faites sans doute en les tournant vigoureusement sur des planches à feu en argile, découvertes sur des sites proches. Des traces de roussissement ont aussi été trouvées. Comme celles faites par des étincelles...

O.D.



DU 9 NOVEMBRE 2012 AU 6 JANVIER 2013

GÉANT NOËL À TOUS




en réservant avant le 25 novembre

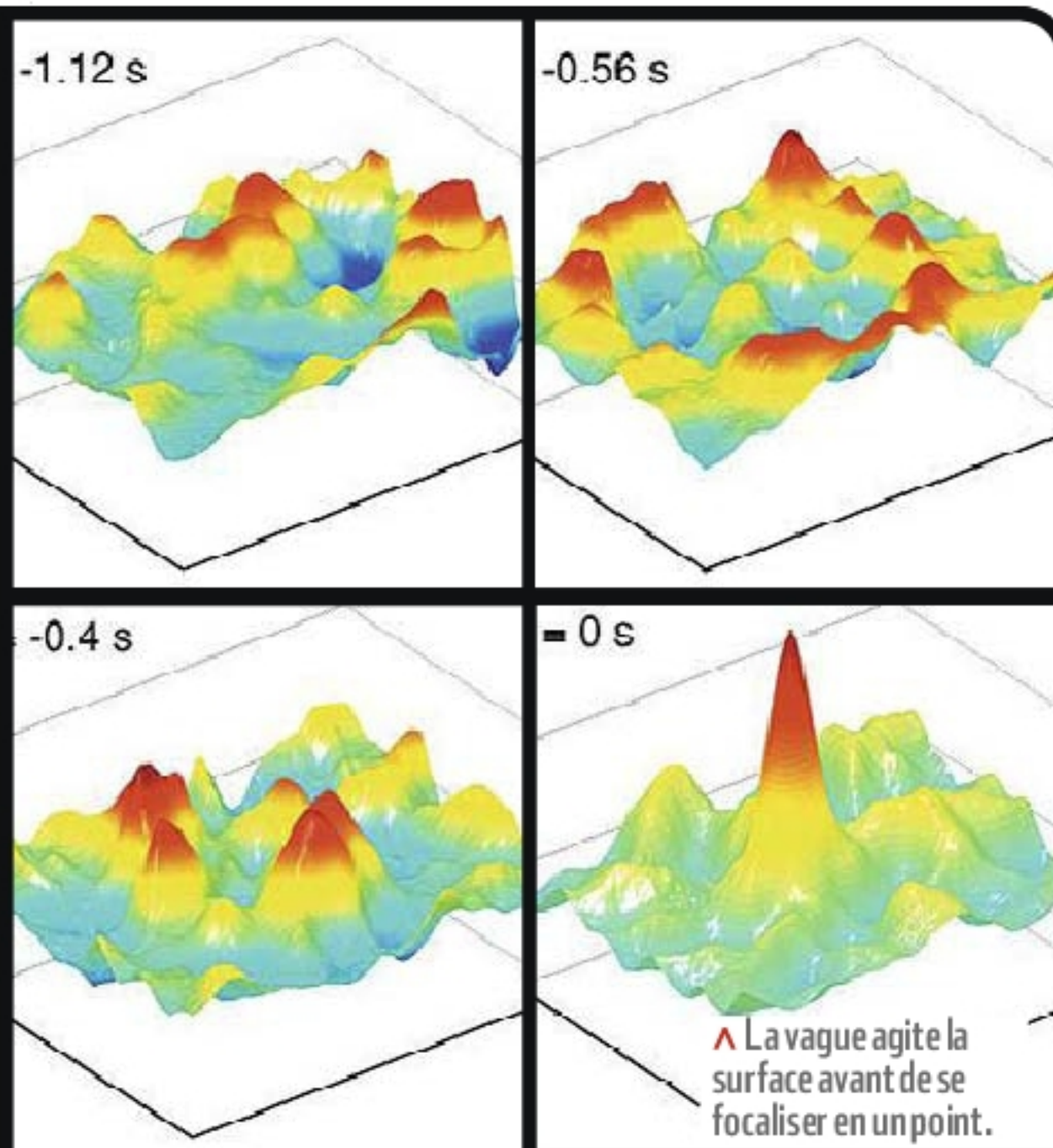
1 JOURNÉE OFFERTE + **GRATUIT** -12 ans⁽¹⁾
pour l'achat d'un séjour⁽¹⁾

N°Indigo 0 825 800 400
0,15 € TTC/min

 disneylandparis.com

 agences de voyages

(1) Arrivées du 09/10/12 au 27/03/13. Durée minimum de séjour à certaines dates d'arrivée. Offre valable dans au moins un hôtel par date d'arrivée. Contactez-nous pour connaître l'hôtel proposé au jour de votre réservation. Pour l'achat d'un séjour adulte, le séjour est offert aux moins de 12 ans. Soumis à conditions.



PHYSIQUE

ON SAIT INVERSER LE MOUVEMENT DES VAGUES

Il est possible de commander aux flots ! Une équipe de physiciens français a produit des vagues qui se focalisent en un point précis, en les réfléchissant comme avec un miroir. « Nous avons exploité un phénomène que l'on nomme 'renversement temporel', précise Adam Prasadka, de l'université du Mans. Il avait été observé avec des ondes sismiques, avec de la lumière, du son... mais on pensait qu'à cause de leur propagation non linéaire, les vagues dans l'eau ne pouvaient se comporter de cette manière. » A l'aide d'un petit bassin de quelques mètres carrés agité de vaguelettes, les chercheurs viennent de prouver le contraire : filmant

l'élévation de la surface de l'eau avec une caméra ultra-rapide, ils ont réussi à capter le mouvement de l'onde assez précisément pour qu'il puisse être inversé par un programme basé sur les équations du renversement temporel, puis réémis sous la forme de vibrations à l'aide d'un bras mécanique... et les vagues se sont focalisées autour de leur point d'émission originel. Le chercheur rêve déjà d'exploiter sa découverte pour contrôler les zones de forts courants dans les ports, en « éteignant » les vagues les plus dangereuses... « Mais avant, il faudra que nous reproduisions notre expérience dans des conditions réelles ! » **M.F.**

NEUROSCIENCES

L'intelligence serait d'abord une affaire de connexions

L'intelligence ? A cette vaste question, des chercheurs américains et slovènes apportent un éclairage nouveau : elle pourrait être liée, en partie, à l'intensité des connexions entre le cortex préfrontal gauche et le reste du cerveau. L'efficacité de cette connectique globale serait responsable de 10 % des variations d'intelligence entre les individus, alors que 6,7 % de celles-ci viendraient de la taille du cerveau et 5 % du niveau d'activité du cortex préfrontal même. **F.G.**

PHYSIOLOGIE ANIMALE

CE SERPENT CHOISIT DE SE REPRODUIRE TOUT SEUL

Faire des petits sans l'aide d'un mâle est assez courant chez les insectes. Chez les vertébrés, comme les serpents, les iguanes et les lézards, la reproduction asexuée – dite parthénogenèse – est plutôt rare, les femelles y ayant recours quand elles sont isolées. Or, des biologistes américains ont découvert que deux espèces de vipères nord-américaines, *Agkistrodon contortrix* (ci-dessous) et *A. piscivorus*, se reproduisent ainsi même si les mâles ne manquent pas autour d'elles. Ils ont comparé le génome de 59 mères à celui de leur progéniture – uniquement des mâles – et n'y ont trouvé aucun ADN d'origine paternelle. La parthénogenèse serait donc bien plus systématique qu'on le croyait chez ces vertébrés. **O.D.**



AUTO

SPORT 200CH

HYbrid4

CONDUISEZ EN 4 DIMENSIONS

ZEV 100 % ÉLECTRIQUE

4 ROUES MOTRICES

CONDUISEZ EN 4 DIMENSIONS

PEUGEOT DOUBLE LE BONUS ÉCOLOGIQUE.



3008 HYbrid4

CO₂ en g/km

99



508 HYbrid4

CO₂ en g/km

95



508 RXH

CO₂ en g/km

107

★ BETC EURO RSCG - Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Paris.

PEUGEOT RECOMMANDE **TOTAL** (1) 3008 HYbrid4, (2) 508 HYbrid4, (3) 508 RXH. Consommation mixte (en l/100 km) : (1) 3,8 ; (2) 3,6 ; (3) 4,1.

PEUGEOT DOUBLE LE BONUS ÉCOLOGIQUE, SOIT JUSQU'À 8000€ D'AVANTAGE CLIENT* dont jusqu'à 4000€ de bonus écologique – Véhicules fabriqués en France.

Vivez une nouvelle expérience de conduite grâce à la technologie HYbrid4 qui vous offre 4 modes de conduite. L'alliance d'un moteur Diesel HDi et d'un moteur électrique permet de réduire votre consommation de carburant** et vous garantit de faibles émissions de CO₂.

* Offre valable jusqu'au 31 décembre 2012, composée du montant du bonus écologique qui, pour les véhicules hybrides, est désormais équivalent à 10 % du prix d'acquisition du véhicule (hors frais annexes et accessoires) avec un plafond de 4000 € et d'une remise exceptionnelle d'un montant équivalent.

** Jusqu'à - 42 % sur 3008 HYbrid4 vs le moteur 2,0L HDi 163ch FAP BVA6. *** Totalement hybride diesel.

TECHNOLOGIE HYbrid4 – FULL HYBRID DIESEL***





SCIENCE & VIE

N° 1113
JUIN 2010

LIGNÉE HUMAINE

LES DATES CONCORDENT ENFIN

Selon les analyses moléculaires et celles des fossiles, l'homme et le chimpanzé ne s'étaient pas séparés aux même dates. Des généticiens viennent de se rallier aux paléontologues : notre destin était déjà scellé il y a 7 millions d'années.

A la une de notre numéro de juin 2010 sur les origines de l'homme, nous évoquions la difficulté d'établir à quel moment l'homme et le chimpanzé se sont séparés. Les estimations moléculaires placent cette divergence il y a 3 à 6 millions d'années, mais les fossiles d'hominidés trouvés à ce jour la repoussent à environ 7 millions d'années, voire plus loin. Pourquoi ce décalage ?

UNE APPROCHE GÉNÉTIQUE

Parce que les analyses moléculaires reposent sur la mesure de "l'horloge moléculaire", c'est-à-dire le rythme d'accumulation des mutations dans un fragment d'ADN ; or, ces mutations ne sont pas régulières dans le temps. Pour caler finement cette horloge, il faudrait disposer de fossiles correctement datés et identifiés... et ils sont peu nombreux. C'est pour pallier cette lacune que l'équipe du généticien évolutionniste Svante Pääbo, du Max-Planck Institute de Leipzig (Allemagne), a développé une approche qui repose uniquement sur l'analyse génétique.

Les chercheurs ont réévalué l'horloge biologique chez l'homme, le chimpanzé et le gorille. Ils ont compilé les données génétiques concernant 226 chimpanzés sauvages de Côte d'Ivoire et de Tanzanie, et 105 gorilles du Rwanda, d'Ouganda et de



la République démocratique du Congo. Ce qui leur a permis d'évaluer enfin précisément le rythme des mutations d'une génération à l'autre. Puis ils ont fait de même chez l'homme en étudiant des populations de chasseurs-cueilleurs actuelles. Conclusion ? L'homme et le chimpanzé ont divergé il y a 7 à 13 millions d'années. Ce qui s'accorde pour la première fois avec les données physiques recueillies depuis des années par les paléontologues : fossile d'*Ororin tugenensis* (6 millions d'années) et fossile de Toumaï (7 millions d'années).

▲ Le généticien Svante Pääbo a compilé les données génétiques de 226 chimpanzés, de 105 gorilles et d'une population de chasseurs-cueilleurs pour réévaluer précisément l'horloge moléculaire.

Cette révolution génétique rapproche enfin les deux échelles de datation, mais les paléanthropologues mettent toutefois en garde contre une trop grande confiance envers ces nouvelles données. Si Svante Pääbo espère adapter cette approche à toute la paléontologie et à l'anthropologie, l'anthropologue Pierre Darlu, du Muséum d'histoire naturelle de Paris, rappelle, lui, que "cela n'est pas une preuve. Celle-ci restera toujours à apporter par les paléontologues à partir de leurs observations". Les fossiles auront forcément le dernier mot. **O.D.**

V. STEGER/SPL/COSMOS



NOUVELLE **SWIFT** *Sport*



SPORT & STYLE...

Son regard défie la ville, son look racé ne laisse pas indifférent, votre voiture a de la tenue. Ses sièges baquets enveloppants, ses projecteurs bi-xénon ou son châssis sport séduiront les amateurs de style. Retrouvez le plaisir de conduire avec vos cinq sens en profitant d'une motorisation souple et économe 1.6 VVT à 6 rapports (136 ch CEE), ainsi que d'équipements de série hors du commun... La route n'a qu'à bien se tenir !

Modèle présenté : Swift Sport 1.6 VVT : 17 190 €. Prix TTC conseillé clé en main, tarif au 02/04/2012. Consommation mixte CEE (l/100 km) : 6,4. Émissions CO₂ (g/km) : 147.

Garantie 3 ans ou 100 000 km au 1^{er} terme échu. *Way of Life!: Un style de vie !

www.suzuki.fr



La disposition et le type d'ossements retrouvés ne correspondent à rien de connu chez les Aztèques...

ARCHÉOLOGIE

SOUS MEXICO, DORMAIT UNE ÉTRANGE TOMBE AZTÈQUE

Le sous-sol de Mexico regorge de surprises... Une équipe mexicaine vient de découvrir une inhumation aztèque d'un type totalement inconnu, à 5 m de profondeur, lors de travaux aux abords de la cathédrale – où se dressait le Grand temple de la ville précolombienne. Datée vers 1480 (soit 40 ans avant l'arrivée des Espagnols) vu sa localisation, elle recelait le squelette

complet d'une jeune femme couchée sur le côté et entourée des restes d'individus de tous âges et des deux sexes. Soit 1 789 ossements, qui intriguent : ils ont été tirés de sépultures plus anciennes pour être réunis autour de la femme ! De plus, fémurs et côtes surnuméraires étaient regroupés, et les vertèbres et sternums portaient des traces de coupures évoquant des sacrifices (cœur

arraché, etc.). Combien de personnes ont-elles été réunies ici et pourquoi ? La présence de dix crânes (dont trois d'enfants) donne un indice, mais le démembrement rend le compte difficile. Et, surtout, qui était cette femme ? Les dignitaires aztèques étant généralement incinérés... Les archéologues voient dans cette découverte la chance d'étudier les rites funéraires d'alors. **E.R.**

ÉTHOLOGIE

LE CORBEAU RECONNAÎT LES VISAGES COMME NOUS

Si le corbeau est capable de se souvenir pendant plusieurs années d'un visage qu'il n'a pourtant croisé qu'une seule fois, c'est parce que son cerveau fonctionne... comme le nôtre. Des chercheurs de l'université de Washington l'ont démontré en exposant douze de ces volatiles à deux types de masques : ceux portés par les personnes qui les ont capturés, et ceux portés par les personnes qui leur ont apporté des soins. Ils ont ensuite observé par scanner que, pour distinguer les masques menaçants (la capture) des masques rassurants (les soins), les corbeaux activaient le même circuit d'aires cérébrales impliquées dans la visualisation, la mémoire et les émotions, que les mammifères. **E.A.**

ÉVOLUTION

Le temps ne fait pas forcément la diversité des espèces

Dans l'arbre de la vie, les branches les plus ramifiées ne seraient pas les plus vieilles. Si le groupe des scarabées contient plus de 3 000 espèces, contre 6 pour la famille des plantes ginkgo, ce ne serait pas parce qu'ils sont apparus bien avant elles. C'est la conclusion de chercheurs américains, qui ont comparé l'âge et la diversité de 1 400 groupes d'espèces d'organismes pluricellulaires. Reste à trouver les facteurs à l'origine de cette très grande variabilité dans la diversité des groupes d'espèces. **E.A.**

> Pour distinguer les visages, le corbeau active les mêmes aires cérébrales que les mammifères.



Savez-vous que depuis la Terre,
on voit toujours le même côté de la Lune ?



La science est partout.
Mais une seule chaîne ne parle que de science.

Disponible en exclusivité sur **CANALSAT**

www.discoverychannel.fr



DISCOVERY
SCIENCE



▲ L'étude, portant sur plusieurs milliers d'Européens, a identifié 5 gènes, dont 2 jusqu'ici inconnus.

GÉNÉTIQUE

CINQ GÈNES DONNENT SA FORME AU VISAGE

La forme de notre visage est clairement liée à notre ADN: les vrais jumeaux ont des visages quasi identiques, les membres d'une même fratrie partagent un air de famille... Toutefois, jusqu'ici, les gènes impliqués demeuraient inconnus. Fin de l'anonymat: ils ont été démasqués par une équipe internationale. Après avoir obtenu par IRM des modélisations en 3D de la tête de plusieurs milliers d'Européens (dont les ancêtres étaient eux-mêmes européens), les chercheurs ont identifié, sur chaque visage, 9 points de repères (espacement des yeux, position de la pointe du nez, etc.). Leur combinaison a permis de déterminer des "paysages

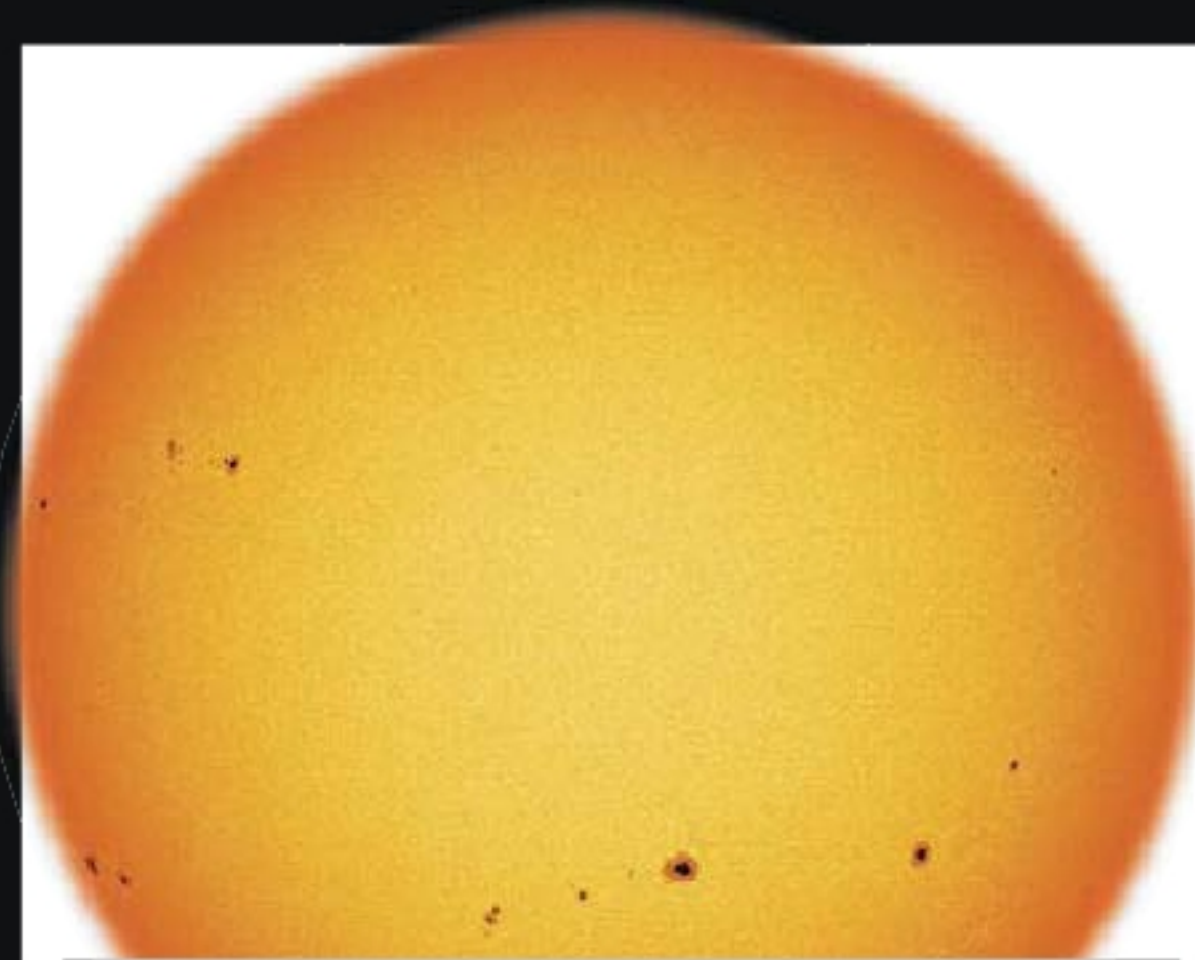
faciaux" variables d'un individu à l'autre. Les scientifiques ont ensuite cherché, dans l'ADN des participants, si ces variations pouvaient être liées à des différences génétiques. Au final, ce n'est pas un, mais cinq gènes qui ont ainsi été identifiés. Trois d'entre eux avaient déjà été associés au développement du crâne chez les vertébrés, mais les deux autres étaient de parfaits inconnus. En menant ce type de recherches sur un plus grand nombre de personnes, d'autres gènes pourraient être découverts. Et qui sait? Peut-être un jour sera-t-il possible de reconstituer le portrait d'une personne à partir de son ADN. Le rêve des archéologues et des médecins légistes... **L.Ca.**

BIOLOGIE CELLULAIRE

La souris repère très vite un danger qui vient du ciel

Markus Meister et ses collègues de l'université Harvard (États-Unis) viennent de montrer que chez la souris, les cellules ganglionnaires de la rétine, ces neurones chargés de convertir les informations visuelles et de les transmettre au cerveau, ne s'activent que lorsqu'elle perçoit une menace venant d'en haut, telle l'ombre d'un oiseau en train de voler. Ainsi la souris est-elle alertée et en possession de tous ses moyens lorsqu'elle doit fuir !

R.B.



ASTRONOMIE

NOTRE ÉTOILE EST UNE SPHÈRE QUASI PARFAITE

Pour une sphère, le Soleil a des mensurations presque parfaites: seulement 0,00075 % de différence entre ses rayons polaire et équatorial ! Et pourtant, la force centrifuge exercée sur ses couches externes devrait aplatis légèrement ses pôles, comme c'est le cas sur Terre. Mais les observations de la sonde SDO sont catégoriques: le Soleil est parfaitement rond et constant. Quoi qu'il se passe à sa surface, éruptions de plasma ou calme plat, sa courbe ne varie pas. Selon l'Américain Jeff Kuhn, responsable de la mesure, le magnétisme et la turbulence des couches plus profondes forgeraient la silhouette de notre étoile, via des mécanismes encore obscurs...

B.R.

POUR CEUX QUI SAVENT



CEUX QUI SAVENT VOUS LE CONFIRMERONT, CHOISIR SUBARU, C'EST CONJUGUER ÉMOTION, PLAISIR ET RAISON. DÉCOUVREZ SANS PLUS ATTENDRE LES NOUVELLES SENSATIONS PROCURÉES PAR LA TECHNOLOGIE D'UN SYSTÈME 4 ROUES MOTRICES PERMANENTES ASSOCIÉ À LA PUISSANCE D'UN MOTEUR BOXER ESSENCE OU DIESEL.

NOUVEAU CROSSOVER SUBARU XV

GARANTIE
ASSISTANCE
3 ans
ou 100 000 km

NOUVELLE SUBARU XV À PARTIR DE 24 900 €⁽¹⁾. MODÈLE PRÉSENTÉ : SUBARU XV 1.6i, 25 400 €⁽¹⁾ (PM INCLUSE). CONSOMMATIONS ET ÉMISSIONS DE CO₂ (SUR PARCOURS MIXTE) DE LA GAMME SUBARU XV : DE 5,6 À 6,9 L/100 KM ET DE 146 À 160 G/KM. (1) TARIF SUBARU PUBLIC AU 01/09/2012.

www.subaru.fr



SUBARU



GÉOPHYSIQUE

ILS ONT RECENSÉ TOUS LES SÉISMES EN EUROPE DEPUIS L'AN 1000

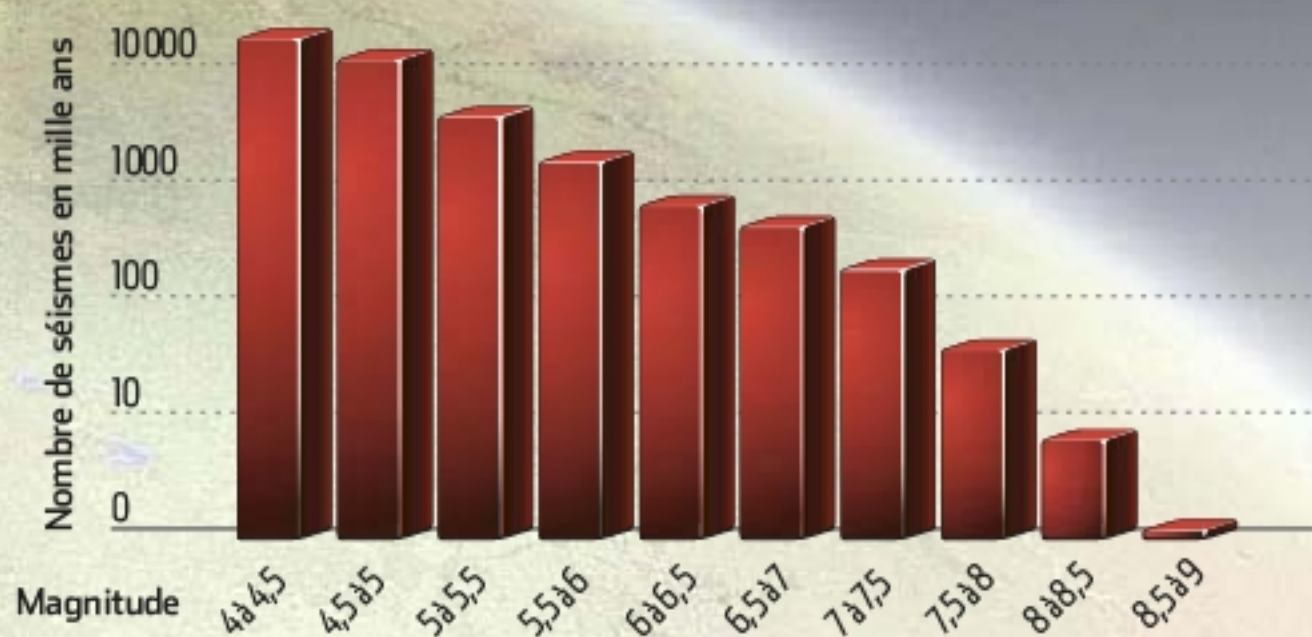
Quarante-cinq mille tremblements de terre: voilà ce que Gottfried Grünthal et Rutger Wahlström (Helmholtz Centre, à Potsdam, Allemagne) viennent de compiler dans leur impressionnant catalogue de la sismicité en Europe et dans le bassin méditerranéen. Pour parvenir à réaliser l'inventaire exhaustif des séismes ressentis, documentés, archivés et enregistrés dans la région depuis l'an 1000, les deux géologues ont dû harmoniser les données provenant de plus de 80 catalogues nationaux et régionaux. Magnitude, épicentre, profondeur du foyer... sont répertoriés. Sans surprise, la distribution géographique des séismes délimite les frontières de plaques tectoniques. Les "points chauds" des Alpes, du Caucase et des Carpates, de même que la zone de forte activité courant de l'Italie à la Turquie reflètent ainsi l'affrontement entre les plaques eurasiennne et africaine. La ride nord-atlantique, qui court entre l'Islande et les Açores, est aussi clairement identifiable. Cet inventaire du passé servira à éclairer le futur. *"C'est un outil fondamental pour réaliser des prévisions et des évaluations du risque sismique"*, s'enthousiasme Gottfried Grünthal. **E.B.-V.**

**Mille ans de séismes
en Europe et dans
le bassin méditerranéen**

- MAGNITUDE > 7
- DE 6,25 À 7
- DE 5,5 À 6,25
- DE 4,75 À 5,5
- DE 4 À 4,75
- DE 3,5 À 4

45 000 tremblements de terre de magnitude supérieure à 4 ont été étudiés

Fréquence des séismes en fonction de leur magnitude



SOURCE: GOTTFRIED GRÜNTAL & RUTGER WÄHLSTRÖM

1909

Date du dernier grand séisme meurtrier en France métropolitaine : il eut lieu à Lambesc (Bouches-du-Rhône) où il causa la mort de 46 personnes.

7,5

C'est la magnitude du séisme le plus meurtrier en Europe depuis 1900. Il fit 100 000 morts le 28 décembre 1908 à Messine (Italie).

MÉTÉOROLOGIE

DÉTRUIRE LA FORÊT ASSÈCHE L'AMAZONIE

L'avenir de l'Amazonie s'annonce sec. D'ici à 2050, la région pourrait en effet recevoir 12 % de pluies en moins lors de la saison sèche, et jusqu'à 21 % en moins lors de la saison humide. Une situation comparable à la grande sécheresse qui avait frappé l'Amazonie en 2010. En cause : non pas les changements climatiques, mais plutôt la disparition massive de la forêt tropicale humide au profit de cultures et de prairies, selon Dominick Spracklen, de l'université de Leeds (Royaume-Uni). En effet, une part importante de l'humidité de l'air à l'origine des précipitations provient de l'évaporation des sols et de la transpiration

des plantes. En s'appuyant sur des données satellitaires et des modèles atmosphériques, Dominick Spracklen a ainsi démontré que les masses d'air passant au-dessus d'une végétation dense produisaient ensuite deux fois plus de pluies que celles survolant des zones clairsemées. Si la déforestation se poursuit au rythme actuel, 40 % du massif amazonien aura disparu en 2050, et le déficit en pluies qui en résultera aura des conséquences négatives pour la forêt, mais aussi pour l'agriculture et la production hydroélectrique, estime le chercheur. Une raison supplémentaire de limiter la destruction de la forêt amazonienne. **P.L.**



► La disparition de la forêt tropicale humide au profit de cultures et de prairies impacte fortement les précipitations.

AÉROLOGIE

On sait pourquoi le méthane de l'atmosphère stagne

La fin d'un mystère ? Depuis une vingtaine d'années la teneur en méthane dans l'atmosphère croît moins vite, contrairement à celle du gaz carbonique, qui s'emballe. Isobel Simpson, de l'université de Californie, pense avoir trouvé la raison principale : la réduction des fuites et des lâchés volontaires de méthane par l'industrie pétrolière... Quand ils ne peuvent pas être utilisés ou transportés, les gaz associés au pétrole sont en effet brûlés ou libérés dans l'atmosphère. Une pratique qui tend à se réduire : de 150 à 300 millions de tonnes de méthane n'auraient ainsi pas rejoint l'atmosphère depuis 1985. **S.F.**





56,7 °C

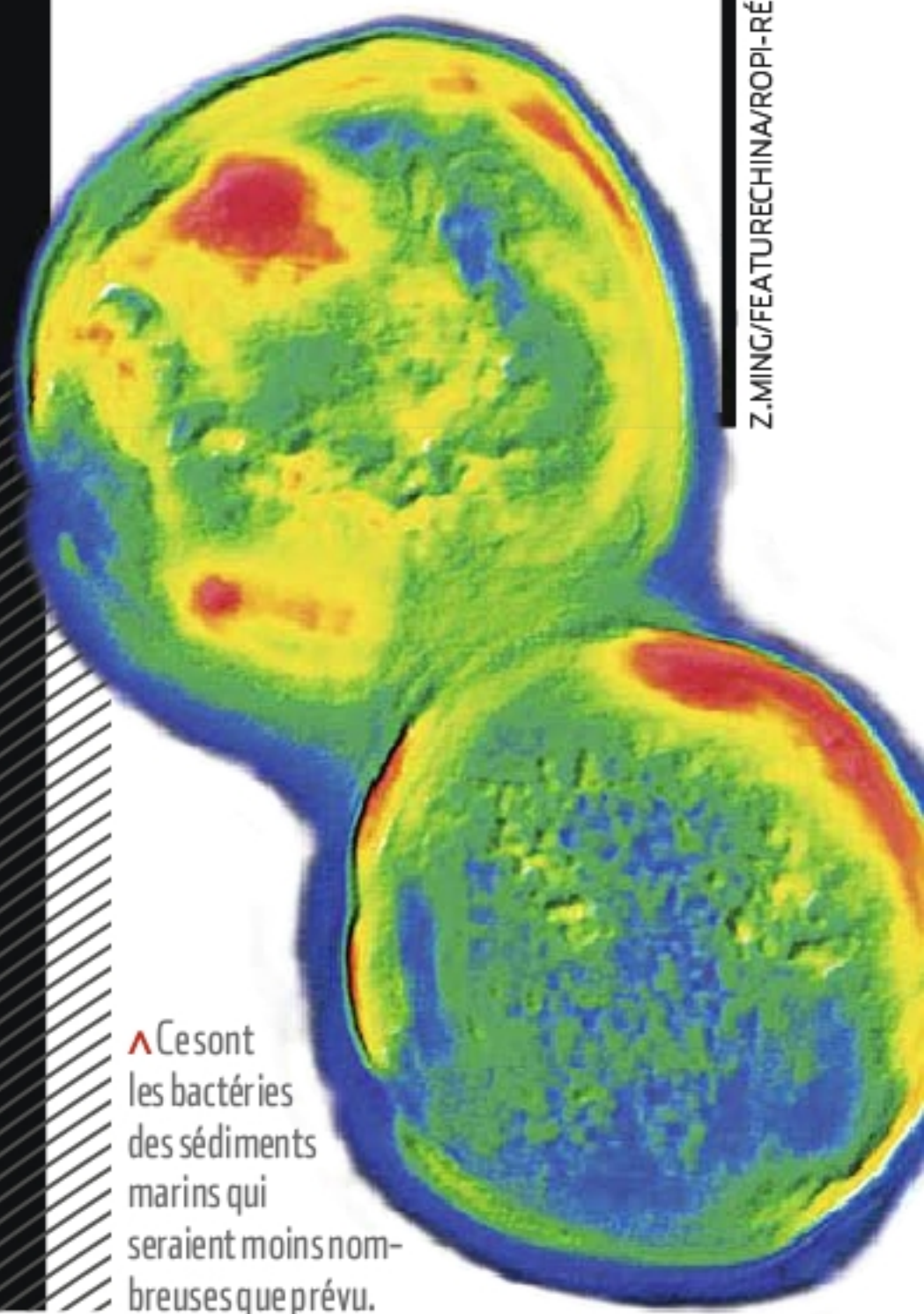
Tel est le nouveau record de température mesurée à la surface de la Terre depuis que l'Organisation météorologique mondiale a invalidé le record détenu depuis 90 ans par la ville d'El Azizia en Libye. Les experts ont estimé que les 58 °C relevés le 13 septembre 1922 avaient été surestimés de 7 °C. C'est désormais à la mesure réalisée le 10 juillet 1913 dans la Vallée de la mort, en Californie, que revient la palme officielle. P.L.



BIODIVERSITÉ

IL Y A MOINS DE BACTÉRIES QUE L'ON CROYAIT SUR LA PLANÈTE

Entre 9 et 31×10^{29} . C'est le nombre de bactéries que notre planète hébergerait d'après Jens Kallmeyer, de l'université de Potsdam (Allemagne). Un chiffre vertigineux qui est cependant inférieur de 50 à 78 % aux précédentes estimations. Cette révision s'explique par le fait que les bactéries vivant sous les fonds océaniques seraient bien moins nombreuses qu'on ne l'envisageait. Le nouveau décompte révèle ainsi que l'abondance en microbes dans les sédiments marins est jusqu'à 10000 fois moindre dans certaines zones de l'océan que dans les zones côtières. Le taux de sédimentation et la distance à la terre ferme expliquent ces importantes variations géographiques. Au final, les sédiments marins abriteraient 3×10^{29} microbes, soit 0,6 % de toute la biomasse terrestre. S.F.



Z.MING/FEATURECHINA/ROPI-RÉA - L.DEMATTEIS/LEDUX-RÉA - SPL/COSMOS



PALÉONTOLOGIE

LES VOLCANS ONT PARTICIPÉ À LA DERNIÈRE EXTINCTION DE MASSE

Les partisans de l'impact d'astéroïde et ceux du volcanisme s'affrontent depuis des décennies pour expliquer la dernière extinction de masse – qui a vu disparaître les dinosaures – il y a 65 millions d'années. Avec l'avantage pour les premiers. Or, voilà qu'une étude affirme qu'il n'y aurait pas eu une, mais

deux vagues d'extinctions ! En auscultant des roches au large de la péninsule antarctique, Thomas Tobin (université de Washington) a mis en évidence un réchauffement 150 000 ans avant la chute de l'astéroïde et contemporain de la disparition de nombreuses espèces des fonds marins. "Ce réchauffement s'est

produit à la même période qu'une série de gigantesques éruptions volcaniques en Inde, explique Thomas Tobin. Il est possible qu'assez de CO₂ ait pu être relâché pour provoquer ces extinctions". Eric Buffetaut, paléontologue soutenant la thèse de la météorite, reconnaît que l'étude montre bien "deux extinctions,

l'une liée au volcanisme, l'autre plus massive liée à l'astéroïde", mais l'influence du volcanisme reste pour lui "modeste". "Nous ne contestons pas le fait que l'astéroïde a joué un rôle majeur, précise Thomas Tobin. Nous disons qu'il n'est pas le seul facteur à prendre en compte." De quoi rouvrir le dossier? **G.S.**



OCÉANOGRAPHIE

UN VIRUS POURRAIT SOIGNER LA

Un virus pourrait bien être le prochain remède utilisé contre la peste blanche, cette maladie mortelle et contagieuse qui affecte des coraux de la mer Rouge. S'inspirant d'un traitement qui a fait ses preuves chez l'être humain,

Eugène Rosenberg (université de Tel Aviv) a mis au point une thérapie génique où un virus-phage cible la bactérie *T. loyana* à l'origine de l'infection et la détruit en injectant son matériel génétique. Au cours d'une

ÉMISSIONS DE CO₂ EN BAISSÉ AUX ÉTATS-UNIS

Les émissions de CO₂ liées au secteur de l'énergie sont retombées à leur niveau de 1992. Ce recul surprenant s'expliquerait par l'exploitation des gisements de gaz de schiste. La baisse des prix du gaz naturel qui en a découlé ayant conduit à un recours moindre au charbon, qui est plus émetteur de CO₂. **Pa.G.**

INVERTÉBRÉS ET EXTINCTION

Souvent oubliés de la liste rouge, les invertébrés seraient tout autant menacés que les plantes ou les vertébrés : une espèce sur cinq risque de disparaître selon une estimation de la Société zoologique de Londres. Les invertébrés vivant en eau douce seraient les plus en danger, du fait de la pollution. **Pa.G.**

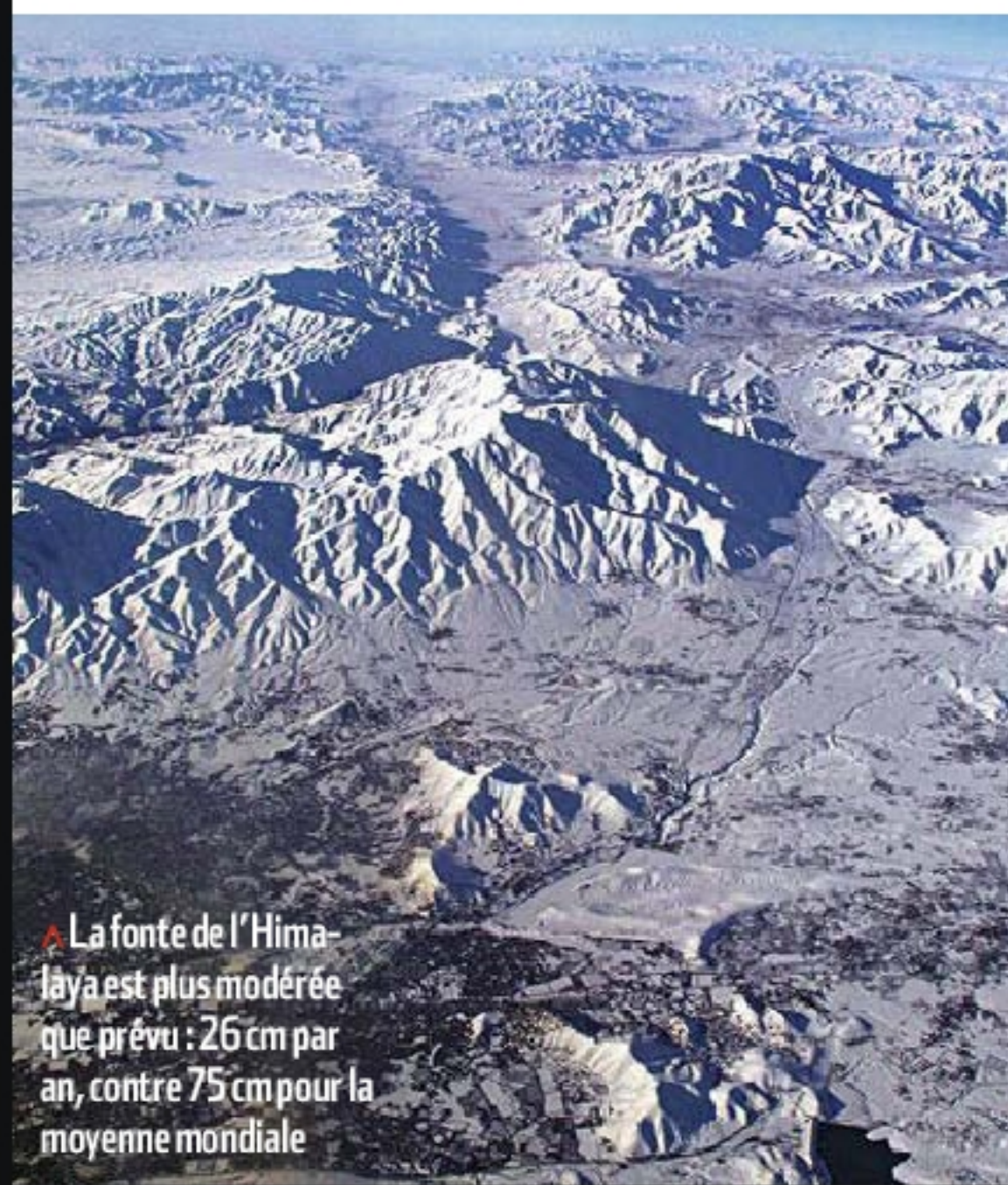
DU PLASTIQUE BIOLOGIQUE ISSU D'HUILE DE CUISSON

Des chercheurs anglais ont réussi à produire du plastique biologique (dit "PHA"), non toxique et biodégradable, en nourrissant des bactéries avec des huiles de cuisson usagées. Moins coûteux que le glucose, le recyclage de ces huiles permettrait aussi un rendement trois fois plus important. **Pa.G.**

GLACIOLOGIE

LES GLACIERS HIMALAYENS NE SE PORTENT PAS SI MAL

Entre 2003 et 2008, les glaciers de l'Himalaya se sont allégés de près de 12 milliards de tonnes par an. Une fonte trois fois inférieure aux précédentes estimations réalisées à partir de mesures éparées sur le terrain. Cette fois, ce sont les données altimétriques du satellite *ICESat* qui ont permis à Andreas Kääb (université d'Oslo, Norvège) d'analyser l'évolution des 60 000 km² de glaciers himalayens. Leur fonte serait donc plus modérée qu'on ne le pensait. Dans le détail, leur épaisseur ne diminue en effet que de 26 cm par an contre 75 cm en moyenne pour l'ensemble des glaciers de la planète. Ils contribuent ainsi pour 1 % à la montée du niveau des océans. Plus étonnant, les glaciers du Karakoram, à l'ouest de la chaîne, ont eux très légèrement grossi pendant cette période sans qu'il n'y ait encore d'explication claire. Le suivi de la santé des glaciers de l'arc himalayan, qui alimentent les bassins de l'Indus et du Gange, est d'une importance stratégique pour cette région parmi les plus peuplée au monde. Il devra être poursuivi au-delà de ces cinq ans d'observation pour pouvoir dessiner une tendance à plus long terme. Mais il faudra attendre pour cela le lancement prévu en 2016 du successeur d'*ICESat*, dont les instruments de mesure sont tombés en panne en 2009. **P.L.**



▲ La fonte de l'Himalaya est plus modérée que prévu : 26 cm par an, contre 75 cm pour la moyenne mondiale

B. FURLAN/BIOSPHOTO - IMAZ PRESS/GAMMA - F. NAUMANN/PANOS-RÉA

▲ 150 000 ans avant la météorite qui, il y a 65 millions d'années, décima de nombreuses espèces, des éruptions volcaniques avaient déjà fragilisé les écosystèmes marins.

PESTE DU CORAIL

expérimentation en milieu naturel dans le golfe d'Aqaba, le chercheur a constaté que l'injection du virus entraînait l'arrêt de l'infection chez les coraux malades et de sa propagation aux coraux sains voisins. **E.B.-V.**

L'ARCTIQUE NE SERA PAS LA NOUVELLE TERRE PROMISE !

Par Vincent Nouyrigat



Elle disparaît à vue d'œil... Cet été, la banquise du pôle Nord a fondu dans des proportions record. Sous l'effet du réchauffement climatique, l'océan Arctique pourrait même se retrouver dès 2040 libre de glace durant la période estivale. Voilà qui donnera à la région polaire, ce bout du monde comprenant les terres et les mers situées au-dessus des 66° de latitude nord, un visage un peu plus amical. Et même irrésistiblement attirant au vu des dernières estimations de l'Institut géologique américain, selon lesquelles la zone arctique recèlerait près du quart des ressources mondiales d'hydrocarbures – surtout en *off-shore*. D'où cette belle certitude désormais affichée dans nos pays tempérés : l'Arctique, nouvelle terre promise.

Sauf qu'il s'agit là d'un mirage. Car c'est un fait : toutes les compagnies pétrolières sont en train de s'y casser les dents ! Ainsi au cours de cet été 2012, censément idyllique, les échecs cuisants se sont multipliés. Des exemples ? Les intrépides Russes de Gazprom ont reporté *sine die* leur projet d'exploiter le fabuleux gisement de gaz de Chtokman, tapi au fond de la mer de Barents : trop difficile, trop cher (30 milliards de dollars !). De son côté, BP a renoncé à son champ de pétrole Liberty, situé au large de l'Alaska : trop compliqué. Même les très rudes Norvégiens de Statoil ont repoussé à plus tard leur prospection en mer des Tchouktches, entre la Sibérie et l'Alaska. Tandis que l'expérimentée Shell a vu sa campagne d'exploration polaire virer à la débandade : menacés par des glaces dérivantes, ses bateaux ont à peine eu le temps de percer quelques ébauches de forage.

Soyons clairs : l'Arctique reste une zone hostile, et le restera encore longtemps ! D'ailleurs, personne n'a jamais dit que la banquise disparaîtrait en hiver... Les hommes et le matériel devront donc toujours affronter le froid, le vent, les icebergs ou les vagues, la nuit polaire de six mois,

l'isolement, l'absence d'infrastructures (ports, routes, voies ferrées...). Songez que la prospection en mer ne peut s'y dérouler qu'entre juillet et fin septembre – des forages s'étalent ainsi sur plusieurs années – ou encore que les pipelines doivent être profondément enterrés pour échapper aux icebergs venant parfois racler le fond marin.

Le réchauffement pourrait même, à certains égards, compliquer la situation... C'est que les glaces plus minces sont animées de mouvements plus rapides, peu prévisibles, et donc dangereux pour toute infrastructure pétrolière – une menace prise très au sérieux. Sans compter que plusieurs climatologues prévoient une recrudescence des tempêtes dans la région. Pis : sur la terre ferme, le dégel de la toundra se traduit par un cauchemar de boue rendant les forages quasi impossibles, sans parler du transport ou de la stabilité des pipelines.

Alors bien sûr, les compagnies ne manquent pas d'idées : usines sous-marines, plates-formes anti-icebergs, pétroliers brise-glace, etc. Il n'y a là rien de techniquement insurmontable – sauf peut-être la capacité à traiter une marée noire piégée sous la glace. Simplement, cette conquête prendra du temps, beaucoup de temps : bon nombre de réservoirs pourraient ne pas être exploités avant... 2050. La planète aura beau avoir soif d'énergie, et l'Arctique comporter un quart des ressources – ce qui reste encore à prouver ! –, les "majors" préféreront toujours fréquenter des régions plus hospitalières. A défaut de terre promise, l'Arctique serait plutôt une terre de promesses difficiles à tenir.

**LE RÊVE D'ALLER
Y CHERCHER DU
PÉTROLE TIENT
DU PUR ET
SIMPLE MIRAGE**

S. AQUINO

UN NUMÉRO À NE PAS RATER EN VENTE ACTUELLEMENT

LES CAHIERS
SCIENCE & VIE

SPÉCIAL
**CODES
SECRETS**

Q*uand les codes secrets infléchissent
le cours de l'histoire...*

LBCARRÉXDEGVKJHKJMHDBVHVHGHGOFUGO
SGVIGENÈREKKGCJGXISRZNIJJOPQUANDWX
HTFXIHDEWXHDTXWBJTRGDFIGEPAINVINHG
LKBIDVHVMACHINEXJDABIKNGNHCASSEBV
SKUGHNDJD'ALBERTIGXRZYPLESXCOWS
HTFXHDEWXHDTXWBM TYJGDDEXL'ARMÉEHD
BGLEXCRYPTAGECHICRIRXOPALLEMANDEHG
LKÀXCLÉXALÉATOIREXHBVKJHKJXHDBVHO
VHGHHTFXHDEWXHDTXWBJTGDFIGKSQPUR
SKUGHINPYSL'AFFAIREXDUXTÉLÉGRAMMEX
HTYFXHIEWXHPDTXMTGDEXZIMMERMANN
LKSYSTÈMEJDXHGKVXJDH BVKJHKJXHDBVH
SKENIGMAHBIGYKIGICUDHBVKJHKJXHDBVH
HTCASSÉWNTJHDHIKJCLEXCODEXNAVAJO
LKPARXTURINGJDXHGKVXMWJDH BVKJHKJX

Aux racines
du monde

BIOCARBURANTS

POURQUOI FAIT-ON MACHINE ARRIÈRE ?

L'Europe les avait promus comme alternative de choix aux carburants fossiles. Mais leur bilan environnemental incite désormais à la prudence... en attendant la prochaine génération.

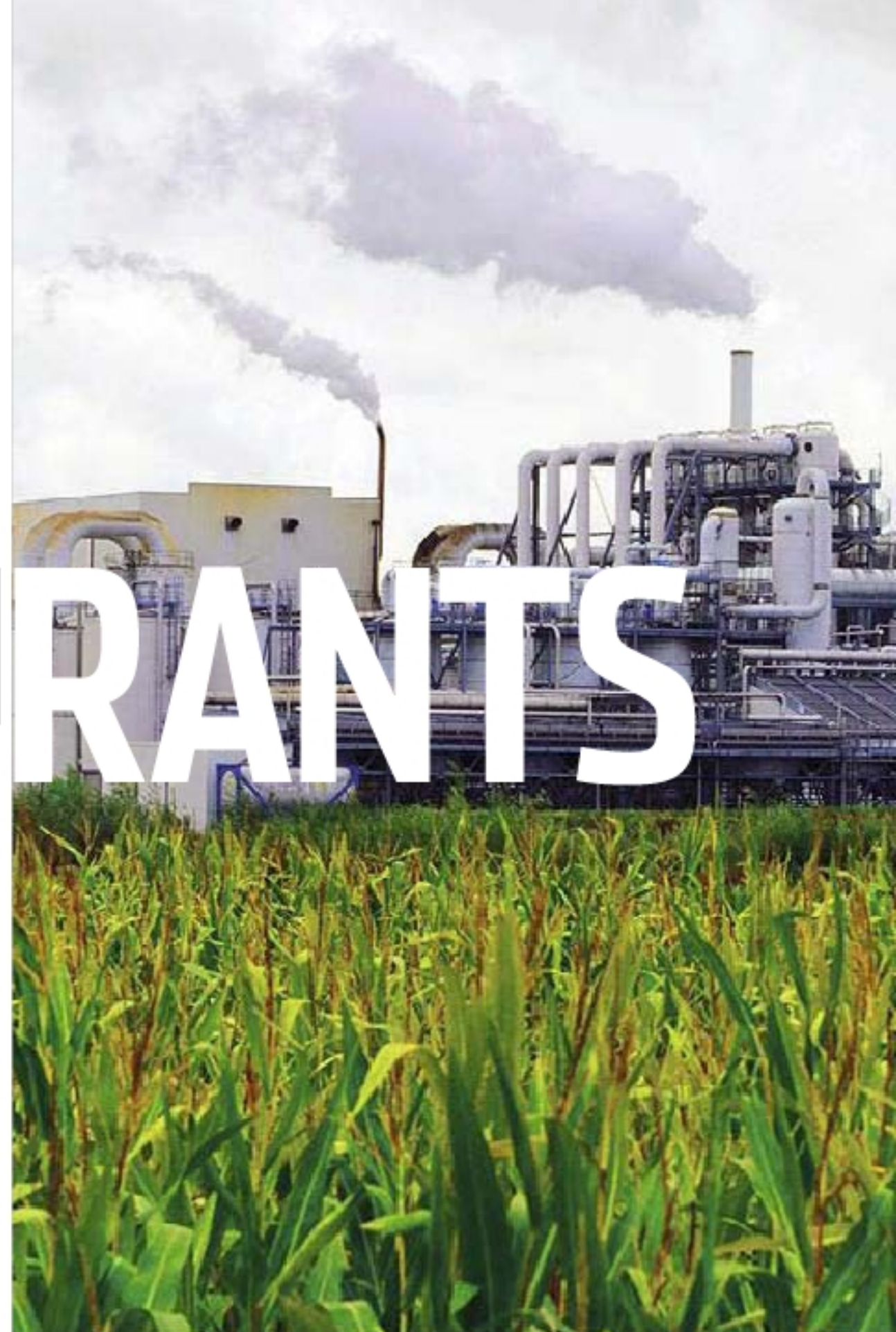
C'est un véritable coup de tonnerre qui a résonné dernièrement dans le ciel des industriels de la filière des agrocarburants. Après plusieurs années de politique de soutien pour développer une filière qu'on annonçait prometteuse et alternative à celle des carburants fossiles, l'Union européenne prépare une directive pour revoir ses ambitions à la baisse.

L'ENVOL DU PRIX DES DENRÉES

Si l'objectif d'incorporer 10 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique du secteur des transports à l'horizon 2020 n'est pas remis en question, l'UE propose que la part de l'énergie provenant de biocarburants issus de denrées alimentaires (colza, tournesol, céréales) soit désormais limitée à 5 %. Or, cette part avoisine déjà les 4,5 %. En France, le ministre de l'Agriculture, Stéphane Le Foll, a souhaité lui aussi "marquer une pause" et aller vers un soutien aux

biocarburants de nouvelles générations, obtenus à partir de végétaux non alimentaires (déchets végétaux, algues...), mais dont la production n'est pas encore au point.

D'autres grandes puissances s'interrogent également, car l'essor du marché des biocarburants a accentué les tensions autour des prix des denrées agricoles, même si d'autres facteurs liés à la croissance démographique, aux aléas climatiques et aux changements de comportements alimentaires dans les pays émergents entrent en jeu. Aux Etats-Unis, premier pays producteur de biocarburants, "la pire sécheresse survenue depuis 50 ans affecte les cultures de maïs et aura de graves conséquences pour l'approvisionnement alimentaire international", s'inquiète José Graziano da Silva, directeur de la Food and Agriculture Organization (FAO) dans une tribune du *Financial Times*. "L'une des façons d'atténuer les tensions serait de réduire ou de



REPÈRES

Dès **1903**, les voitures de Rudolph Diesel roulent à **l'huile d'arachide**. Après les chocs pétroliers, en **1980**, le Brésil **produit du bioéthanol** à partir de **canne à sucre**. En **2009**, les **Etats-Unis** produisent **42 %** des biocarburants mondiaux, le **Brésil 29 %** et **l'Europe 18 %**, pour un total de **52 millions de tonnes équivalent pétrole**.

suspendre temporairement les mandats de production de biocarburants", propose-t-il. Pour l'heure, le bilan énergétique et environnemental des biocarburants est suffisamment contrasté pour justifier ce rétropédalage. Certes, les économies d'énergie réalisées en utilisant du biodiesel ou du bioéthanol peuvent atteindre 85 % par rapport à l'utilisation de carburants ordinaires, mais l'ensemble de la filière ne s'avère pas si verte que ça. Selon l'ADEME, elle serait même fortement émettrice de gaz à effet de serre, si l'on prend en compte la transformation d'un milieu naturel (forêt, zone humide...) en champs cultivés. L'année 2012 marque donc un tournant, et la réorientation stratégique vers les filières de 2^e et 3^e générations, qui devraient être opérationnelles aux alentours de 2015-2020 pour les premières, semble désormais sur les rails. **E.B.-V.**

E.BAUDET/FEDEPHOTO - FBS - M.KONTENTE

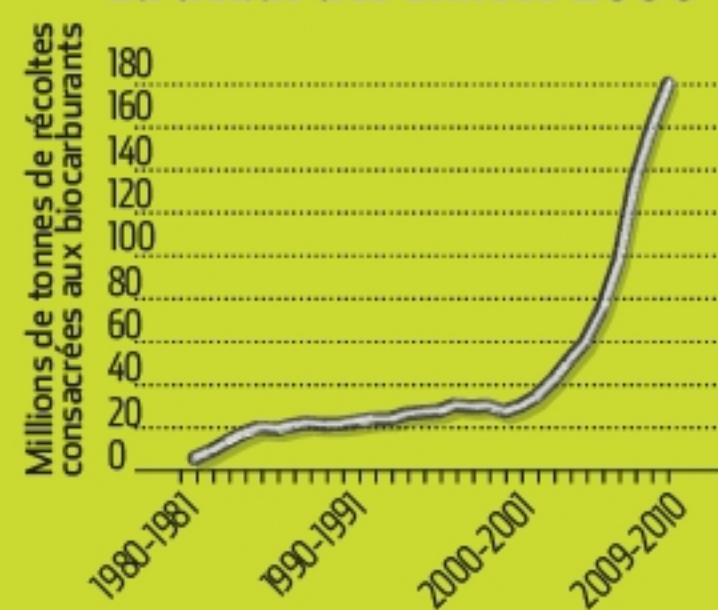


CLÉ N° 1

En dix ans, la production de biocarburants a mondialement explosé...

De 2003 à 2010, la production mondiale de biodiesel a été multipliée par 6 et celle de bioéthanol par 8. En 2010, les deux poids lourds des biocarburants, soit les Etats-Unis et le Brésil, ont assuré 77 % de la production. Outre l'Europe, d'autres pays s'y sont mis : Chine, Argentine, Indonésie, Canada, Thaïlande, via des mesures incitatives à la production.

Un essor brutal, amorcé au début des années 2000



SOURCE : INRA

CLÉ N° 2

Cultures transformées en bioéthanol et biodiesel



50 % de la canne à sucre au Brésil



30 % du maïs aux Etats-Unis



60 % du colza en Europe

... au détriment des cultures alimentaires

Au cours de la période 2008-2010, la filière des biocarburants (bioéthanol et biodiesel) a utilisé 11 % de la production mondiale de céréales secondaires, 21 % de celle des plantes à sucre et 11 % de la production d'huiles végétales.

SOURCE : OCDE, FAO 2011

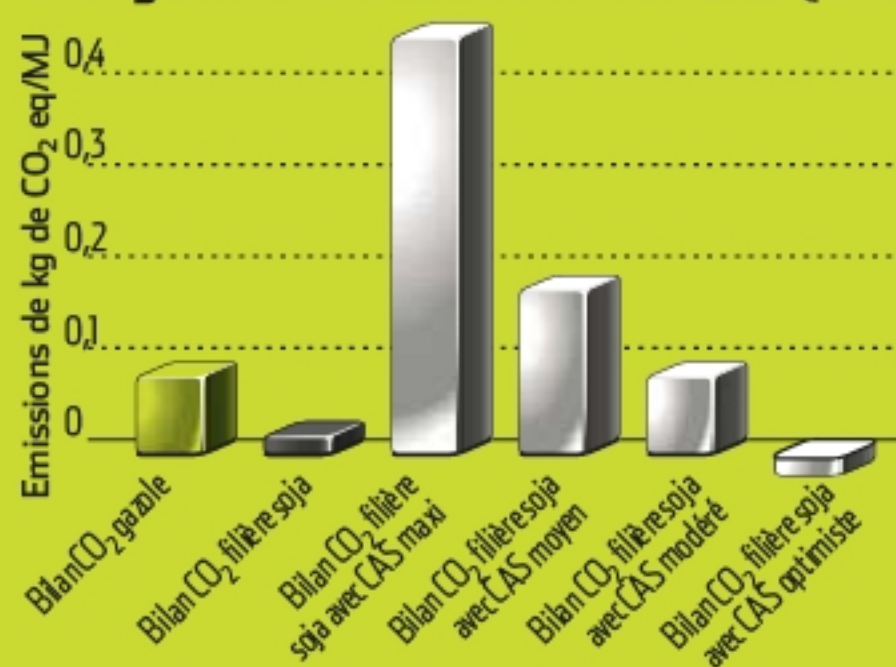
▲ Le développement des biocarburants a contribué à faire grimper le prix des denrées agricoles. Il pourrait, en outre, avoir des conséquences sur l'approvisionnement alimentaire mondial.

CLÉ N° 3

Pourtant leur bilan environnemental n'est si pas bon...

Si les biocarburants permettent de réduire les gaz à effet de serre (GES) de 49 % à 90 % selon leur origine, le bilan peut être négatif lorsqu'on tient compte du changement d'affectation des sols (CAS), surtout si celui-ci est "maximum" : les biocarburants proviennent d'une déforestation à l'étranger (ils ne sont pas produits sur place, sur des terres déjà agricoles). Les sols ont en effet une réserve en carbone liée à la présence de matière organique, et tout CAS engendre une perte ou un gain de carbone. Dans 2/3 des cas, les biocarburants ne permettraient pas de diminuer de 35 % les émissions de GES comme le préconise l'UE.

Le bilan CO₂ de la filière soja devient calamiteux quand on tient compte du changement d'affectation des sols (CAS)



SOURCE : ADEME




CLÉ N° 4

... mais l'espoir repose sur les prochaines générations de biocarburants

Dans le monde, plus de 150 projets de production de biocarburants de deuxième génération, produits à partir de biomasse (bois, paille, déchets agricoles) ou d'huiles végétales non alimentaires (jatropha, caméline) sont sur les rails. Sans parler de ceux de troisième génération (à partir de micro-algues cultivées à grande échelle, ci-contre), dont les rendements en huile promettent d'être supérieurs de 20 à 30 fois à ceux du colza.

actus medecine

> Dans certains cas de perte de l'odorat, une mutation entraîne la disparition des cils (en vert) qui prolongent les neurones olfactifs (en rouge) de la cavité nasale, chargés de reconnaître les molécules odorantes.

A detailed scanning electron micrograph showing a dense field of olfactory cilia. The cilia are long, thin, and branched, appearing in shades of pink, red, and white against a greenish-yellow background. They are arranged in a complex, overlapping pattern, typical of the olfactory epithelium.

NEUROLOGIE

UNE THÉRAPIE GÉNÉRIQUE A PU RESTAURER L'ODORAT

Toute personne enrhumée a déjà vécu l'expérience désagréable de la perte transitoire de son odorat. Mais pour certains, l'anosmie, qui entraîne une diminution du goût et de l'appétit, est permanente. Elle apparaît parfois dès la naissance, provoquée par des facteurs génétiques. Dans une étude menée à l'université du Michigan (Etats-Unis), des

souris ont retrouvé l'odorat alors qu'elles présentaient une mutation sur le gène IFT88, identifié comme le responsable d'une des formes génétiques de la maladie. Cette mutation provoque la disparition des cils microscopiques sur les extrémités des neurones, impliqués dans la reconnaissance des molécules odorantes, qui tapissent

la cavité nasale. Pour guérir les rongeurs, les chercheurs leur ont injecté dans le nez le virus modifié du rhume, afin qu'il transporte le gène IFT88 non muté dans les neurones de l'olfaction. Quinze jours plus tard, les cils poussaient, les neurones de l'olfaction reprenaient du service, et les souris retrouvaient l'odorat puis l'appétit. Si les

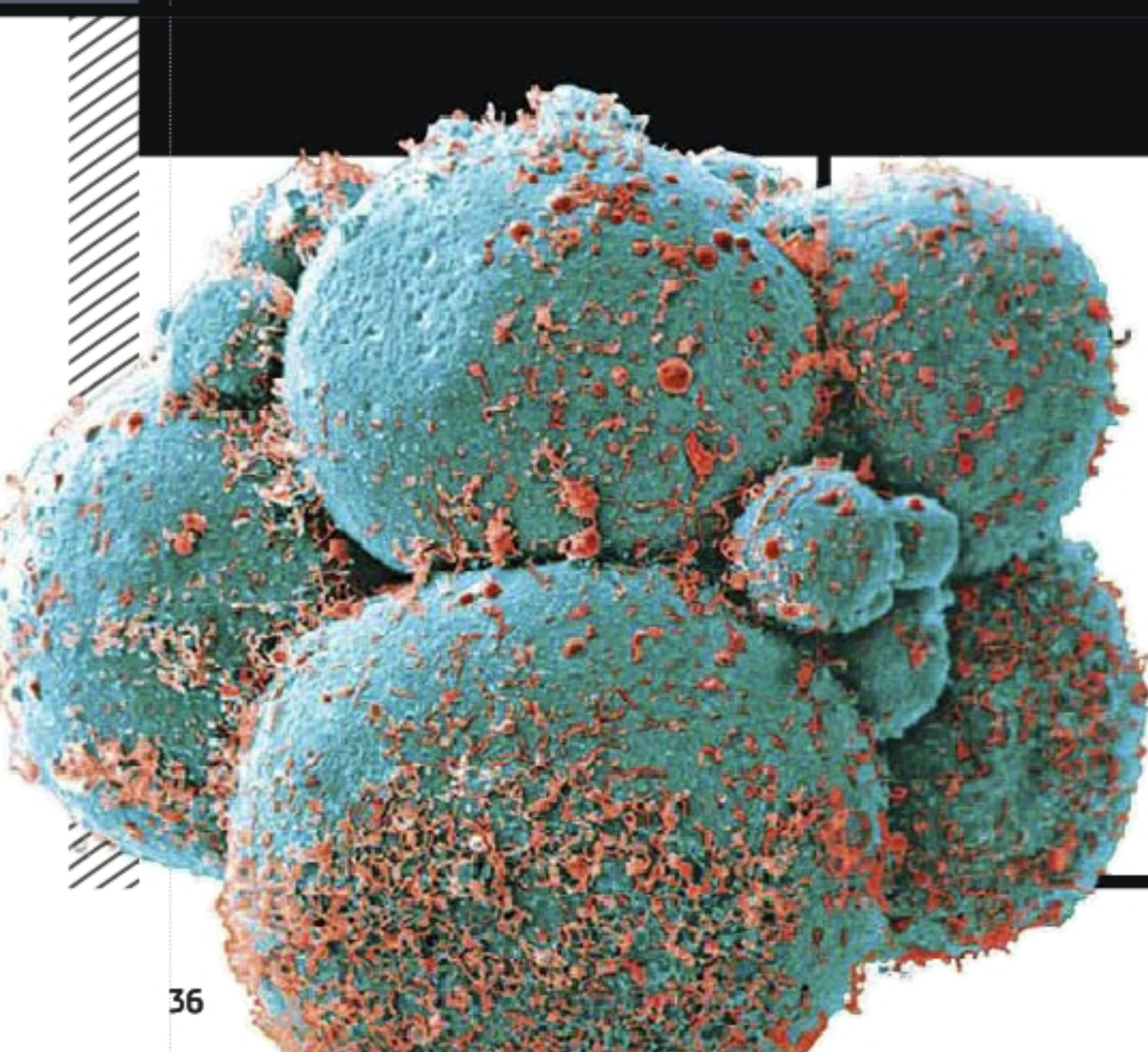
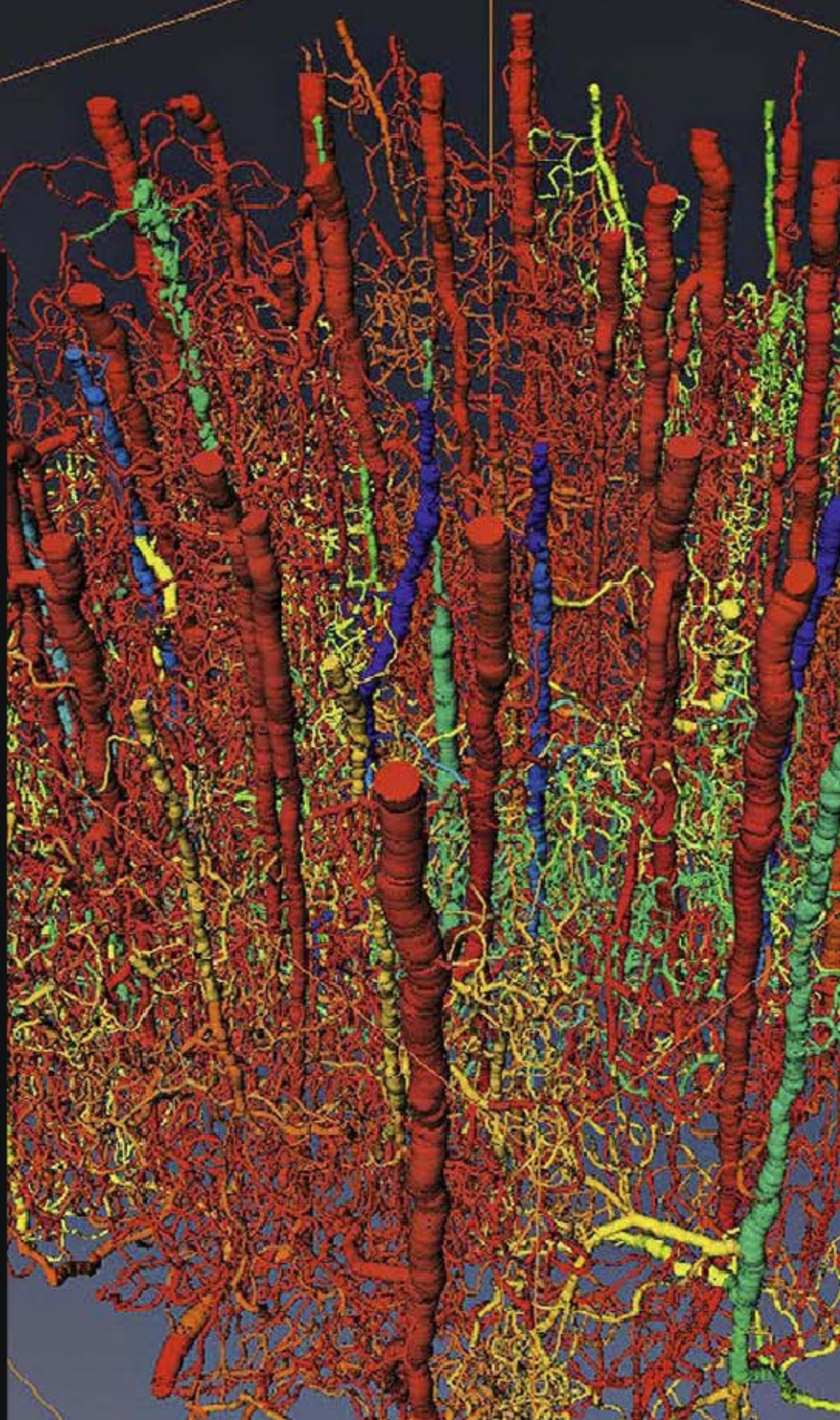
anomalies ciliaires ne touchent que 0,02 % des victimes d'anosmie congénitale, elles sont impliquées dans d'autres pathologies, comme la maladie polykystique des reins ou la rétinite pigmentaire, car beaucoup d'organes portent des cellules ciliées. Cette découverte laisse espérer des pistes thérapeutiques inédites pour ces maladies. **E.D.**

NEURO-IMAGERIE

LE CERVEAU EST MIEUX IRRIGUÉ QUE PRÉVU

Le système d'irrigation du cerveau se révèle plus complexe et résistant que ce qu'on croyait. "Le cerveau nous semblait fragilisé par des goulots d'étranglement, car on pensait que chaque capillaire sanguin était alimenté par une seule artériole et drainé par une seule veinule", explique Caroline Fonta, du CNRS de Toulouse. Or, son équipe a montré que plus on pénètre profondément dans le cortex cérébral, plus les capillaires qui l'alimentent peuvent recevoir du sang, non pas d'une seule artériole, mais de plusieurs. Et de la même façon, le sang peut être évacué par plusieurs veinules. "Environ

la moitié des capillaires qui forment le réseau vasculaire cérébral sont potentiellement alimentés par une dizaine d'artérioles et drainés par 14 veinules en moyenne", poursuit la chercheuse. Pour arriver à cette conclusion, l'équipe a cartographié, grâce à la tomographie par rayons X, le réseau vasculaire d'un morceau de tissu cérébral de singe, qu'elle a reconstitué numériquement. Puis elle a effectué sur ce réseau virtuel des simulations d'écoulement. Un tel maillage signifie que, théoriquement, si une artériole se bouche, les autres seront capables de compenser le déficit d'alimentation. C.H.

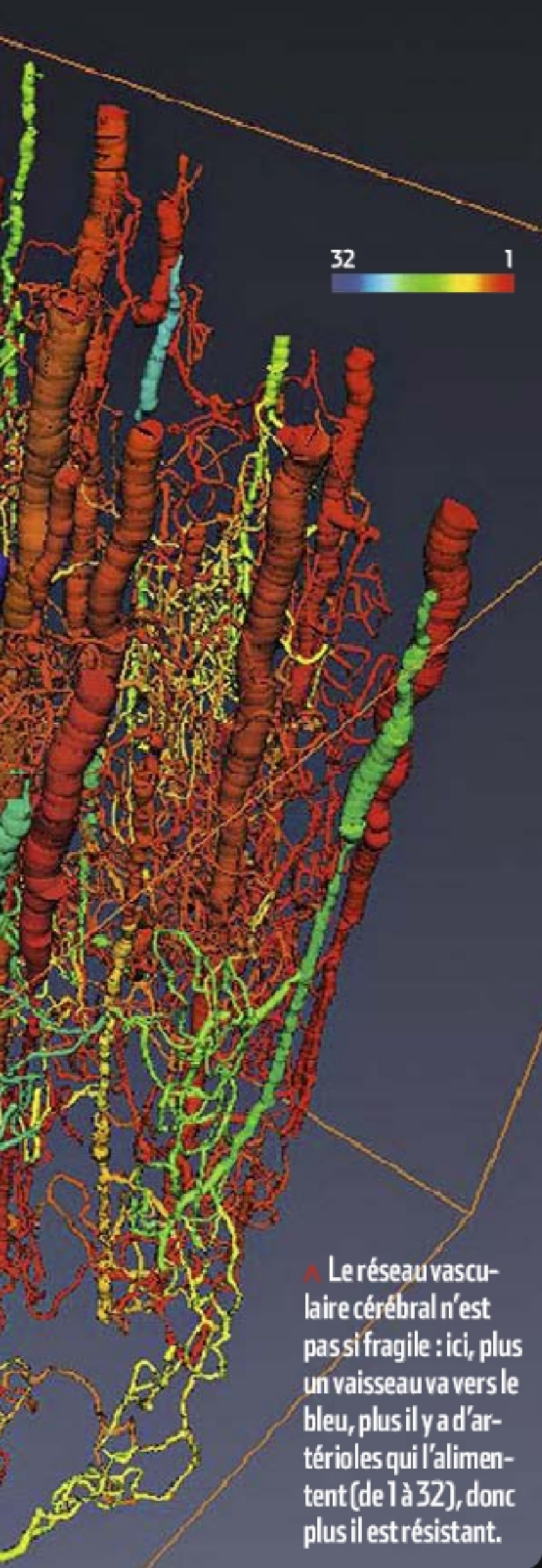


OBSTÉTRIQUE

CONGELER L'EMBRYON FACILITE

Après une fécondation *in vitro* (FIV), les embryons congelés donneraient de meilleurs résultats que les embryons frais: un plus faible risque de prématurité et des bébés en meilleure santé, selon des chercheurs britanniques qui ont comparé onze études de suivi. Cela s'expliquerait par le taux hormonal

de la mère lors de l'implantation de l'embryon. Pour faciliter la collecte d'ovaires avant une FIV, les femmes reçoivent un traitement de stimulation hormonale. Lorsque l'embryon est implanté quelques jours plus tard, le niveau hormonal, trop élevé, n'a pas le temps de revenir à la normale. En



▲ Le réseau vasculaire cérébral n'est pas si fragile : ici, plus un vaisseau va vers le bleu, plus il y a d'artérioles qui l'alimentent (de 1 à 32), donc plus il est résistant.

LA GROSSESSE

soi, la congélation ne renforce pas l'embryon, sauf que ce dernier sera implanté des mois après la fécondation. D'autres études seront nécessaires pour confirmer cette hypothèse. Pour l'instant, la norme reste l'implantation d'embryons frais, mais la technique pourrait changer d'ici quelques années. **A.L.**

LE BROUHAHA EMPÊCHE LE BON CODAGE DES SONS

Si l'audition est altérée dans le brouhaha, est-ce à cause d'un défaut dans le codage des sons au niveau de l'oreille ou d'analyse de ces sons dans le cerveau ? C'est la première hypothèse qui est la bonne, selon des chercheurs de l'université Purdue (Etats-Unis). **O.C.**

LA VITAMINE D AGIT CONTRE LA TUBERCULOSE

La vitamine D à fortes doses accélère la guérison chez des personnes atteintes de tuberculose pulmonaire. L'adjonction de vitamine D à l'antibiothérapie facilite la résolution de la réaction inflammatoire en agissant sur la réponse immunitaire... et réduirait la mortalité. **O.C.**

CHLORDÉCONE : IL EST NOCIF POUR LES BÉBÉS

L'exposition pendant et après la grossesse au chlordécone, un pesticide interdit en 1993 mais encore présent dans le sol aux Antilles, nuit au développement de la mémoire visuelle des bébés et de leur motricité fine, celle qui permet une meilleure coordination des doigts et des mains. Pour l'instant, l'étude ne va pas au-delà de 7 mois. À suivre. **K.B.**

PHARMACOLOGIE

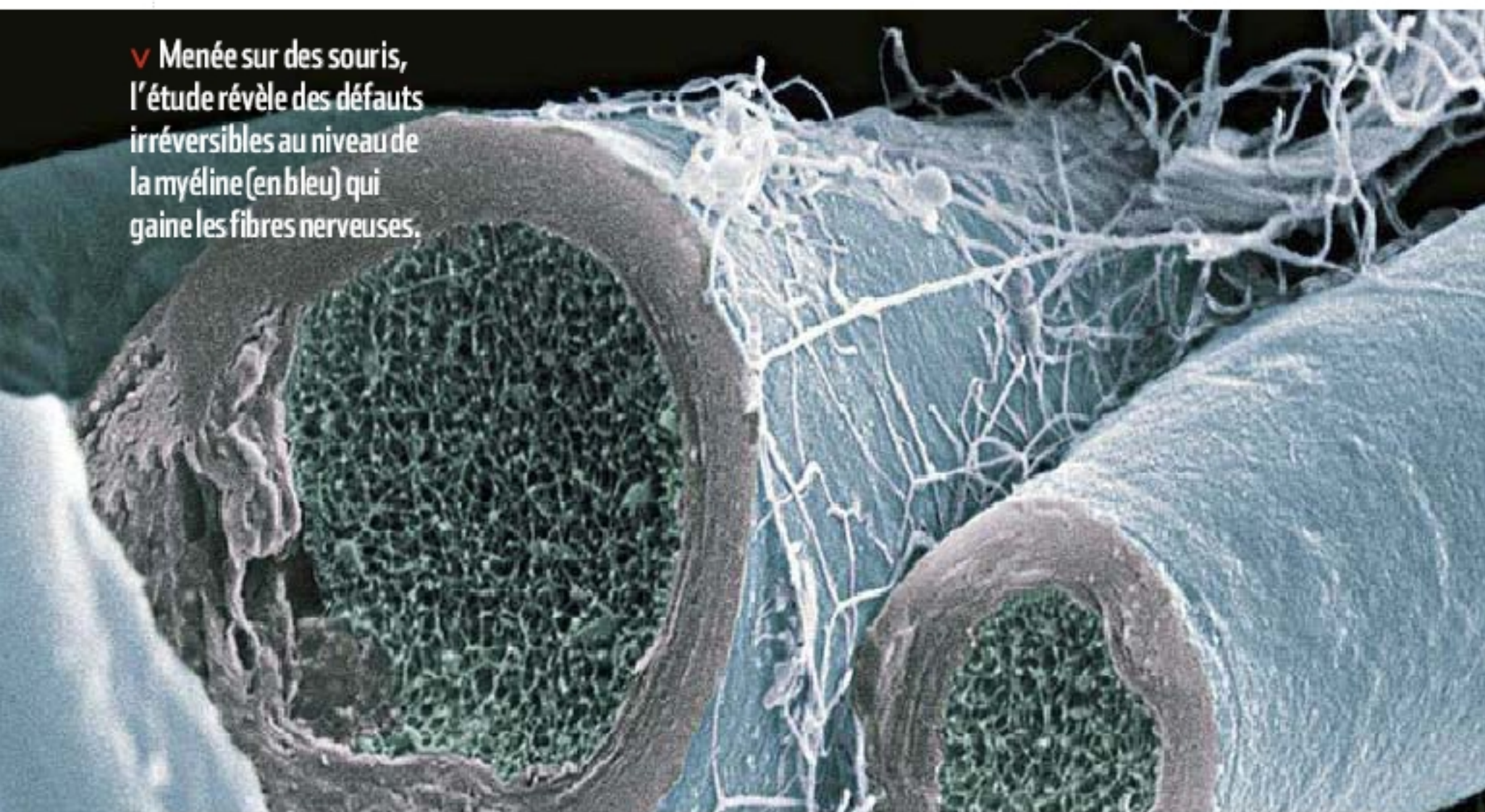
SOIGNER À LA MEILLEURE HEURE DEVIENT POSSIBLE

Notre horloge biologique est connue pour influencer l'efficacité et le risque d'effets indésirables de nombreux traitements, notamment des chimiothérapies contre le cancer. En fonction des gènes, qui peuvent faire varier de cinq à six heures l'horloge interne d'une personne, et de notre mode de vie – le travail de nuit peut la décaler de douze heures –, nous ne devrions pas tous prendre nos médicaments en même temps. Mais comment déterminer le meilleur moment ? Des chercheurs japonais ont peut-être trouvé la solution : il suffit de lire notre heure biologique avec deux simples prises de sang. Menée par Hiroki Ueda, de l'Institut Riken (Tokyo), l'équipe a développé une méthode qui permet d'éviter les nombreuses prises de sang réparties sur plus de vingt-quatre heures, nécessaires jusqu'à présent pour mesurer la concentration d'une seule molécule directement liée au cycle veille-sommeil (cortisol ou mélatonine). La technique était bien trop complexe pour être utilisée par les médecins... Les chercheurs ont donc étudié la concentration sanguine de milliers d'autres molécules, sans lien direct avec l'horloge interne. Ils en ont identifié 58 dont les concentrations varient différemment sur vingt-quatre heures. La combinaison de ces molécules comparée lors de deux prises de sang, espacées de douze heures, a suffi à étalonner l'horloge biologique de six personnes, avec une précision de trois heures. Un grand pas vers le développement de véritables "chronothérapies", même si, d'ici là, *"notre méthode devra atteindre une précision à l'heure près, à partir d'une seule prise de sang"*, prévient Hiroki Ueda. **E.A.**



▲ On pourra bientôt déterminer pour chacun le meilleur moment pour la prise d'un traitement.

▼ Menée sur des souris, l'étude révèle des défauts irréversibles au niveau de la myéline (en bleu) qui gaine les fibres nerveuses.



NEUROLOGIE

ÊTRE ISOLÉ EN BAS ÂGE NUIT AU CÂBLAGE CÉRÉBRAL

Les interactions sociales des premières années de la vie s'avèrent plus cruciales encore qu'attendu pour la maturation du cerveau. Une étude réalisée sur des rongeurs par des neuroscientifiques de Harvard met en lumière des anomalies irréversibles dans le gainage des fibres nerveuses. Comparées à une fratrie restée en groupe, de jeunes souris isolées pendant deux semaines à partir

de leur sevrage adoptent un comportement peu sociable lorsqu'elles sont remises en présence d'un congénère. Elles présentent en outre des capacités d'apprentissage réduites. Or, dans certaines régions de leur cerveau, les neurones ne sont pas bien enveloppés par la myéline, une substance isolante qui permet une transmission rapide des signaux nerveux. L'explication est

moléculaire : l'isolement freinerait l'expression de deux gènes importants pour la maturation des cellules qui constituent la myéline. Constat plus troublant encore : même si l'on remet définitivement les souris dans des conditions normales après ces deux semaines de solitude, le câblage de leur cerveau reste incomplet et elles n'adopteront jamais un comportement normal. F.G.

BIOLOGIE CELLULAIRE

Deux "équipes" cellulaires réparent la peau

Pour veiller sur son intégrité, notre peau disposerait non pas d'une, mais de deux équipes de cellules souches ! La première, déjà connue, régénère la peau tout au long de la vie. La deuxième, tout juste découverte par des chercheurs de l'université libre de Bruxelles, répare les plaies de tous les jours. Les biologistes ont utilisé un procédé de traçage fluorescent pour marquer des gènes spécifiques des cellules souches. C'est uniquement lors de la cicatrisation que cette "équipe spéciale" entre en jeu : les divisions s'accroissent et les nouvelles cellules migrent jusqu'à la zone endommagée. Les cellules souches responsables du renouvellement de la peau, elles, n'entrent pas dans ce processus. Cette identification précise devrait améliorer les traitements des grands brûlés. E.D.

PNEUMOLOGIE

LA CIGARETTE RENFORCE LES MAUVAISES BACTÉRIES

Décidément, les cigarettes en veulent à nos poumons ! On savait déjà qu'elles affaiblissent nos défenses immunitaires et irritaient les cellules qui tapissent nos voies aériennes. Des chercheurs de l'université Columbia (New York) viennent de montrer que, pour couronner le tout, la fumée de cigarette renforce les bactéries indésirables qui colonisent nos muqueuses. En exposant le staphylocoque doré aux molécules oxydantes présentes dans la fumée de cigarette, ils ont ainsi montré que ces bactéries produisaient en réaction des protéines leur permettant de mieux adhérer entre elles et à la paroi de nos cellules.

E.A.



ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE

59€
seulement
au lieu
de 112 €*

1 an d'abonnement
+ 4 hors-séries
+ 2 éditions
spéciales

Recevez cette
[radio vintage]

UNE
RÉDUCTION DE

47%



La charme de l'ancien avec le son d'aujourd'hui !

Radio FM rétro en fibres de bois, entrée adaptateur 6V, livrée avec piles.



BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à:
SCIENCE & VIE ABONNEMENTS – B341 – 60643 CHANTILLY CEDEX

☒ **Oui, je m'abonne**
à Science & Vie pour 1 an

(12 numéros + 4 hors-séries + 2 éditions spéciales)
+ la radio vintage pour seulement 59€ au lieu de
~~112 €~~ soit plus de 47% de réduction



☐ **Je préfère seulement m'abonner à Science & Vie**
pour 1 an (12 n°+4 HS+ 2 ES) pour 55€ au lieu de ~~82€~~
(prix kiosque) soit 33 % de réduction

☐ **Je commande uniquement la radio vintage**
au prix de 30€ et je joins à mon courrier le règlement
total de ma commande

➤ Voici mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse :

Complément d'adresse (résidence, lieu dit, bâtiment...) :

Code Postal : Ville :

Tél : [] [] [] [] [] [] Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement

E-mail :

Je souhaite recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori) ☐

➤ **Mode de paiement :** ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

☐ _____ Date et signature obligatoires

Expire à fin Code Crypto
 Les 3 chiffres au dos de votre CB

*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1^{er} abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 30/09/2012 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20€, chacun des hors-séries au prix de 4,90€ et les éditions spéciales au prix de 5,90€. La radio vintage vous sera adressée dans un délai de 4 à 6 semaines après réception de votre commande. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Vous disposez du droit de rétractation pour la radio vintage. Conformément à la loi «informatique et libertés» du 6 janvier 1978, cette opération donne lieu à la collecte de données personnelles pour les besoins de l'opération ainsi qu'à des fins de marketing direct. Ces informations sont nécessaires pour le traitement de votre commande. Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant ainsi que votre droit d'opposition, en écrivant à l'adresse ci-après. Vous êtes susceptible de recevoir des propositions commerciales de notre société pour des produits et services analogues à ceux objet de l'opération. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher la case ci-contre ☐. **Science & Vie** – Service Abonnements - 8 rue François Dry 92543 MONTROUGE CEDEX - Mondadori Magazines France SAS RCS 472 791 262 NANTERRE

SCIENCE & VIE

PLUS D'OFFRES ET
D'AVANTAGES SUR
www.kiosquemag.com

DENGUE

UN VACCIN SE PROFILE

Première lueur d'espoir dans le combat contre la dengue : alors que le virus gagne du terrain sur tous les continents, une campagne de vaccination a enfin été testée avec succès.

Un vaccin imparfait... qui constitue pourtant le tout premier espoir dans un combat inégal entre des populations sans défense et des virus responsables de la dengue, une maladie potentiellement mortelle contre laquelle aucun traitement n'existe. Fièvre, fatigue intense, hémorragies parfois... La dengue est souvent surnommée la "grippe tropicale", du fait de son origine géographique, mais elle commence à gagner du terrain dans les pays tempérés, y compris en France, au gré des allers-retours de voyageurs et de l'implantation de *Aedes aegypti*, le moustique-tigre qui la transmet. D'où la portée mondiale des résultats présentés par le laboratoire Sanofi Pasteur : pour la première fois, une préparation vaccinale se révèle capable de protéger contre trois des quatre types de virus à l'origine de la dengue.

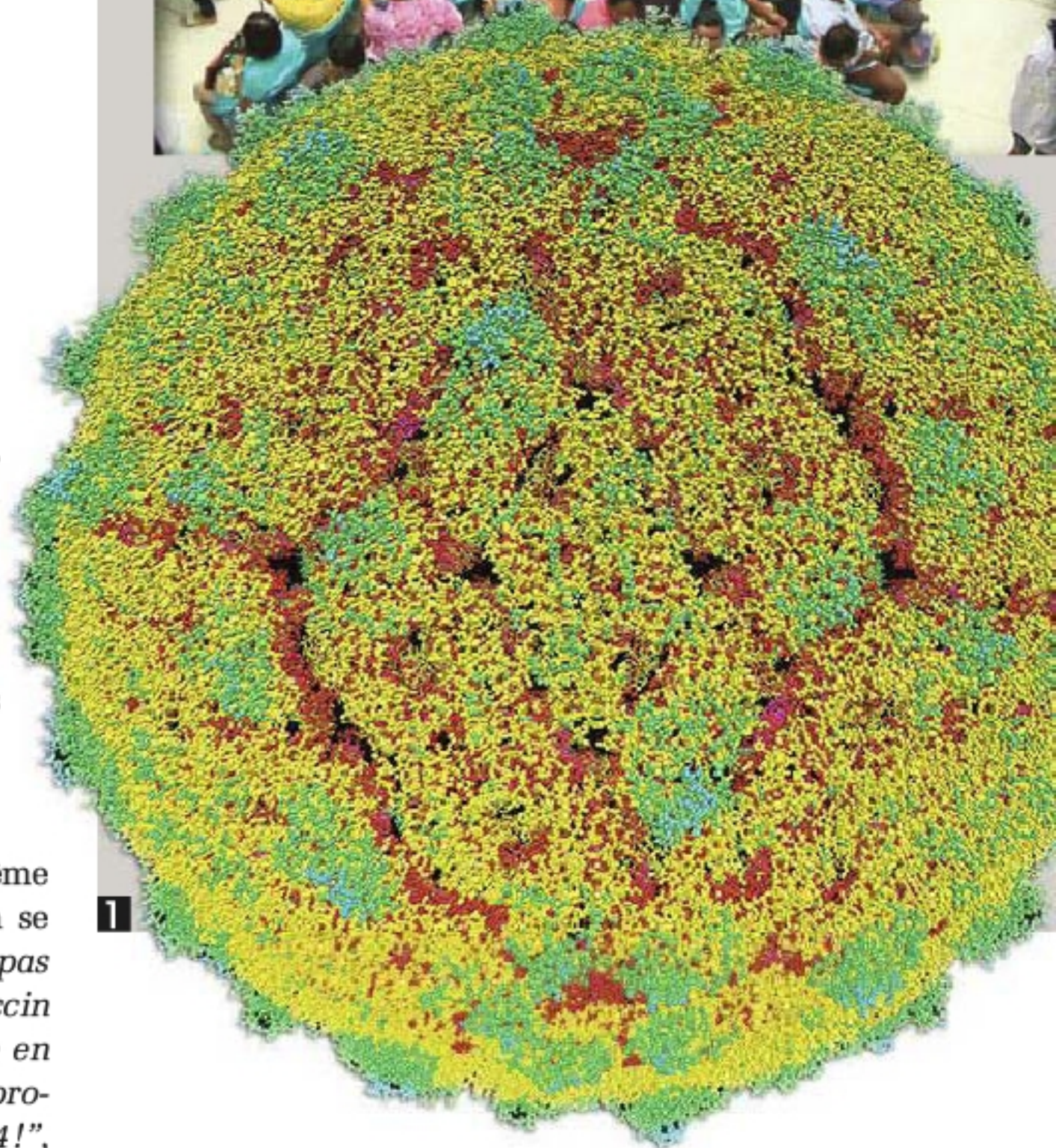
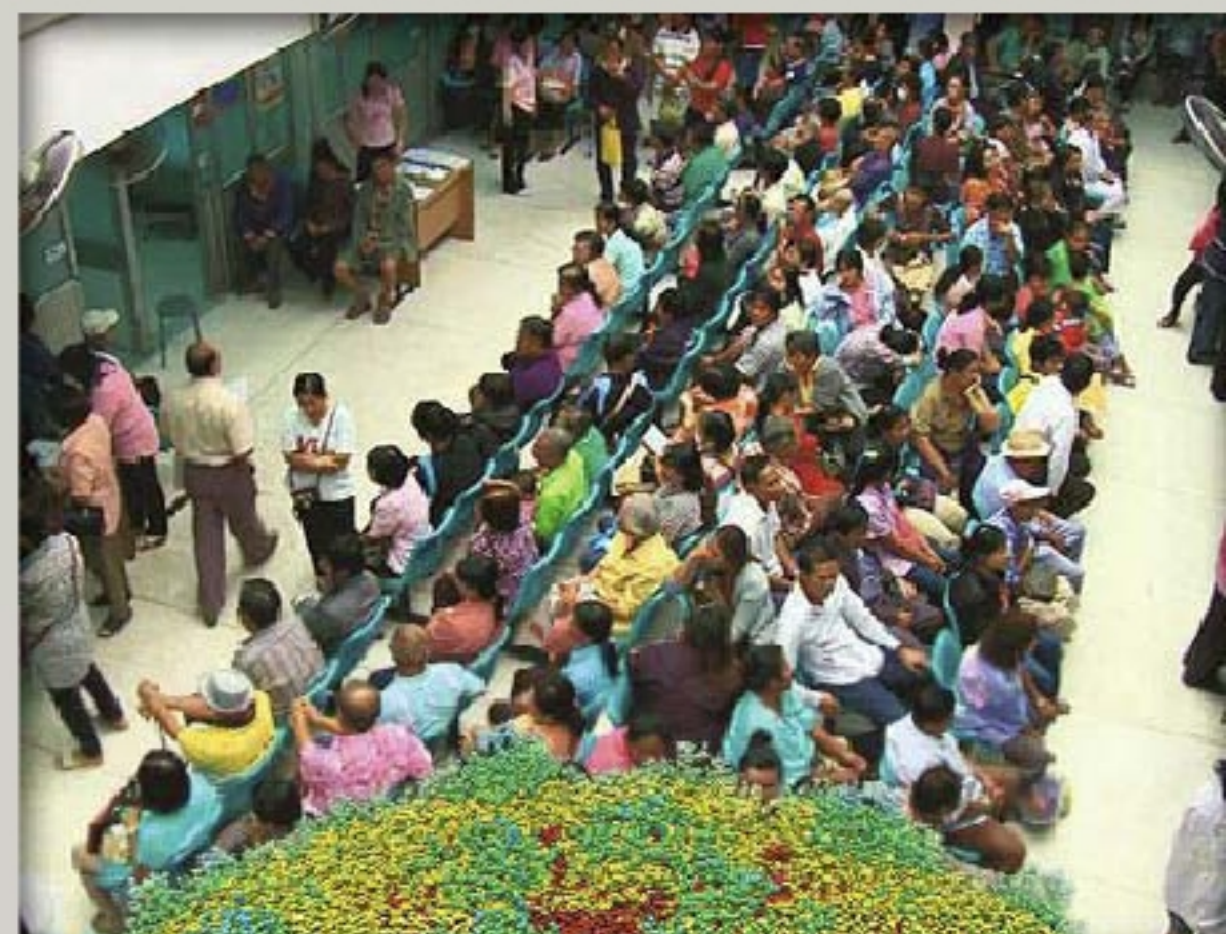
Mené en Thaïlande sur 4 000 enfants pendant deux ans, l'essai conclut à une efficacité de 60 à 90 % contre les virus de types 1, 3 et 4 ; mais aucune, en revanche, contre le type 2,

pourtant le plus présent dans cette région du globe. Il n'empêche ! Au final, la campagne de vaccination a permis d'éviter les infections chez 30 % des volontaires.

FREINER UNE ÉPIDÉMIE

Alors, cette protection, même partielle, pourrait-elle déjà se révéler utile ? *"Il ne serait pas absurde d'utiliser un tel vaccin pour freiner une épidémie en cours, pourvu qu'elle soit provoquée par les virus 1, 3 ou 4 !"*, estime André Ciré, chef du service des maladies infectieuses et tropicales au CHU de Fort-de-France. Exactement comme l'épidémie combinée des virus 1 et 4 qui a frappé la Martinique en 2010, touchant 40 000 personnes, entraînant des centaines d'hospitalisations et 17 décès.

De son côté, l'Organisation mondiale de la santé en demande plus avant d'envisager une utilisation massive : la protection vaccinale doit être démontrée contre les quatre virus, car ils touchent désormais tous les continents à des fréquences



FAITS & CHIFFRES

Il existe **4 types** de virus (DENV-1, 2, 3 et 4). La dengue est endémique dans **100 pays** ; **50 millions** de personnes l'attrapent chaque année ; **500 000** sont hospitalisées pour des formes graves dont **20 %** décèdent. **En 2010**, la France a enregistré **2 cas**.

différentes selon les années. Sans compter qu'un vaccin partiel peut provoquer des réactions immunitaires indésirables.

En effet, dans la nature, l'infection par un premier type viral facilite ensuite les infections par les autres types. *"Prenons une personne qui a contracté le virus de type 1 et n'a eu que les symptômes d'une grippe, explique Ali Amara, directeur du laboratoire de Pathologie et virologie moléculaire à l'Institut universitaire d'hématologie, à Paris. Si elle contracte ensuite le type 3, son système immunitaire*



va tenter de le neutraliser à l'aide des anticorps de type 1 fabriqués lors de la première infection. Loin d'être efficaces, ceux-ci vont faciliter l'entrée du virus de type 3 dans les cellules immunitaires et doper l'inflammation." Cette stratégie du "cheval de Troie" favorise l'apparition des cas les plus graves... mais n'a heureusement pas été observée dans les premiers résultats publiés par Sanofi Pasteur. "Il est maintenant crucial de comprendre pourquoi le vaccin ne protège pas contre le virus de type 2", conclut André Ciré. Ce à quoi le laboratoire s'attelle, poursuivant son étude sur quelque 30 000 personnes en Amérique du Sud et en Asie. **F.G.**

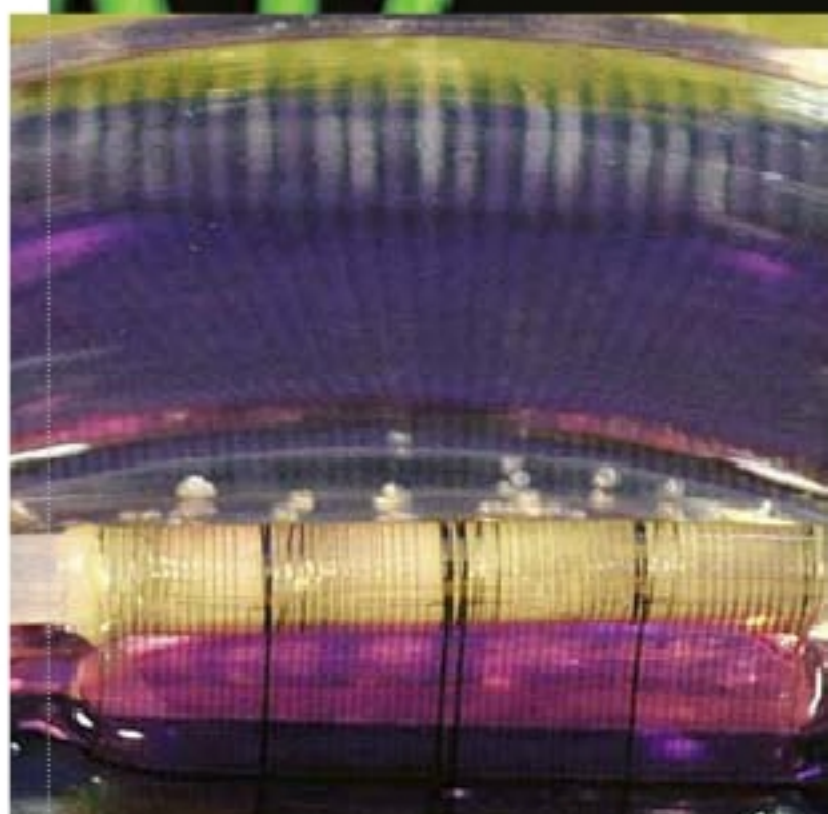
1 Aucun traitement n'existant contre le virus de "la grippe tropicale"...

2 ... tous les espoirs reposent sur une campagne vaccinale : menée pendant deux ans en Thaïlande sur 4 000 enfants, celle-ci a révélé une efficacité de 60 à 90 % contre les virus de types 1, 3 et 4. Seul bémol : le type 2, très présent dans la région, échappe hélas à sa protection.


PALUDISME : UNE DEUXIÈME PISTE VOIT LE JOUR

Sur le front du paludisme, deux vaccins (S&V n° 1132, p. 60) sont actuellement testés sur des enfants d'Afrique subsaharienne, l'une des zones du globe où l'épidémie est la plus meurtrière. Pour le plus avancé des deux, développé par GlaxoSmithKline, ses résultats sur des bébés de moins de 3 mois devraient être connus avant la fin de l'année. Mais aucun de ces deux vaccins potentiels, fabriqués à partir de protéines du parasite, ne dépasse pour l'instant une efficacité de 50 %. Aussi une autre piste gagne-t-elle du terrain : "Produire des vaccins à base de parasites vivants atténués est devenu possible et sûr depuis qu'on arrive à les manipuler génétiquement", affirme Robert Ménard, de l'unité de biologie et génétique du paludisme de l'Institut Pasteur à Paris. Plus efficace, cette méthode pose cependant un important problème logistique : un tel vaccin doit en effet être stocké à -80 °C...

actus technos



▲ Sur ces entrelacs de nanofils de silicium organique (vert fluo) ont été greffées des nano-électrodes en silicium. Posées sur ce "cytosquelette électronique", des cellules de vaisseaux sanguins se sont développées... jusqu'à former un capillaire de 1,5 cm (ci-contre).



BIONIQUE

C'EST LE PREMIER VAISSEAU SANGUIN CONÇU *IN SILICIO* !

Dans le film *Terminator*, Arnold Schwarzenegger déchire sa peau d'androïde pour réparer ses circuits endommagés... A en croire les travaux menés à l'université Harvard, cette histoire ne relève plus de la science-fiction. Des chercheurs sont en effet parvenus à développer des cellules de vaisseaux sanguins humains... sur un circuit

électronique ! Leur recette s'inspire du cytosquelette, ce réseau filamenteux sur lequel viennent se fixer habituellement les éléments d'une cellule. Ainsi ont-ils utilisé, en guise de câbles, des nanofils de silicium organique "tricotés" à la manière d'un filet de pêche et sur lesquels ils ont ensuite greffé des nano-électrodes en silicium. Enduite

de collagène, cette nasse spongieuse s'est alors avérée un redoutable piège à cellules : une fois déposées sur ce "cytosquelette électronique", les cellules prélevées sur des vaisseaux sanguins ont proliféré, jusqu'à former un capillaire de plus de 1 cm de long ! Grâce aux nano-électrodes disséminées dans ces entrelacs de nanofils,

les chercheurs ont même réussi à surveiller l'acidité du sang dans les cellules. "Dans un premier temps, explique Bozhi Tian, l'un des chercheurs, notre procédé pourrait servir à tester les effets de nouveaux médicaments sur des tissus." Avant, sans doute, d'ouvrir de nouvelles pistes vers la mise au point d'implants bioniques... **S.B.**

CONSTRUCTION

CE GRATTE-CIEL CUMULERA TOUS LES RECORDS

Edifier un gratte-ciel de 838 mètres de haut en à peine trois mois, c'est la prouesse incroyable que promet de réaliser le groupe de BTP chinois Broad Sustainable Building (BSB) avec Sky City One. Implantée à Changsha (province chinoise du Hunan), cette tour de 220 étages devrait faire 10 mètres de plus que Burj Khalifa, à Dubai, le gratte-ciel actuel le plus haut du monde qui a nécessité, lui, six ans de travaux. Pour réaliser un tel exploit, les ingénieurs chinois ont prévu de préfabriquer 95 % de leur tour : les conduites de ventilation, l'approvisionnement en eau, l'électricité et l'éclairage ont ainsi directement été intégrés

aux planchers et aux plafonds avant d'être acheminés sur le chantier, avec les piliers, les portes, les fenêtres, les murs... Chaque module va ensuite être hissé puis boulonné et fixé à l'armature en acier par les ouvriers du chantier, à la vitesse de cinq étages par jour. Une technologie qui a déjà été éprouvée fin 2011 à l'occasion de la construction d'un hôtel de trente étages, en à peine quinze jours. Au total, ce seront ici 1 million de nouveaux mètres carrés, reliés par 104 ascenseurs qui devraient voir le jour sous peu. Début des travaux prévus ce mois-ci. Ouverture des portes : dès janvier 2013 !

E.T.-A.



ÉNERGIE

LES PANNEAUX SOLAIRES FONT LEUR BEURRE DES ÉPINARDS

C'est bien connu, les épinards, c'est de l'énergie ! En disposant sur une simple plaquette de silicium des protéines utilisées par les épinards dans le processus de photosynthèse, des chercheurs américains (université Vanderbilt, Tennessee) ont réussi à convertir le rayonnement du soleil en électricité et, surtout, à produire 2,5 fois plus d'énergie que les meilleures cellules bio-hybrides existantes. Une surface de 60 cm² à 1 volt engendrerait un courant d'au moins 100 milliampères. Pour l'instant, cela reste moins efficace que les panneaux solaires classiques, mais ce dispositif pourrait permettre à terme de se passer des matériaux rares et coûteux actuels (indium). G.S.

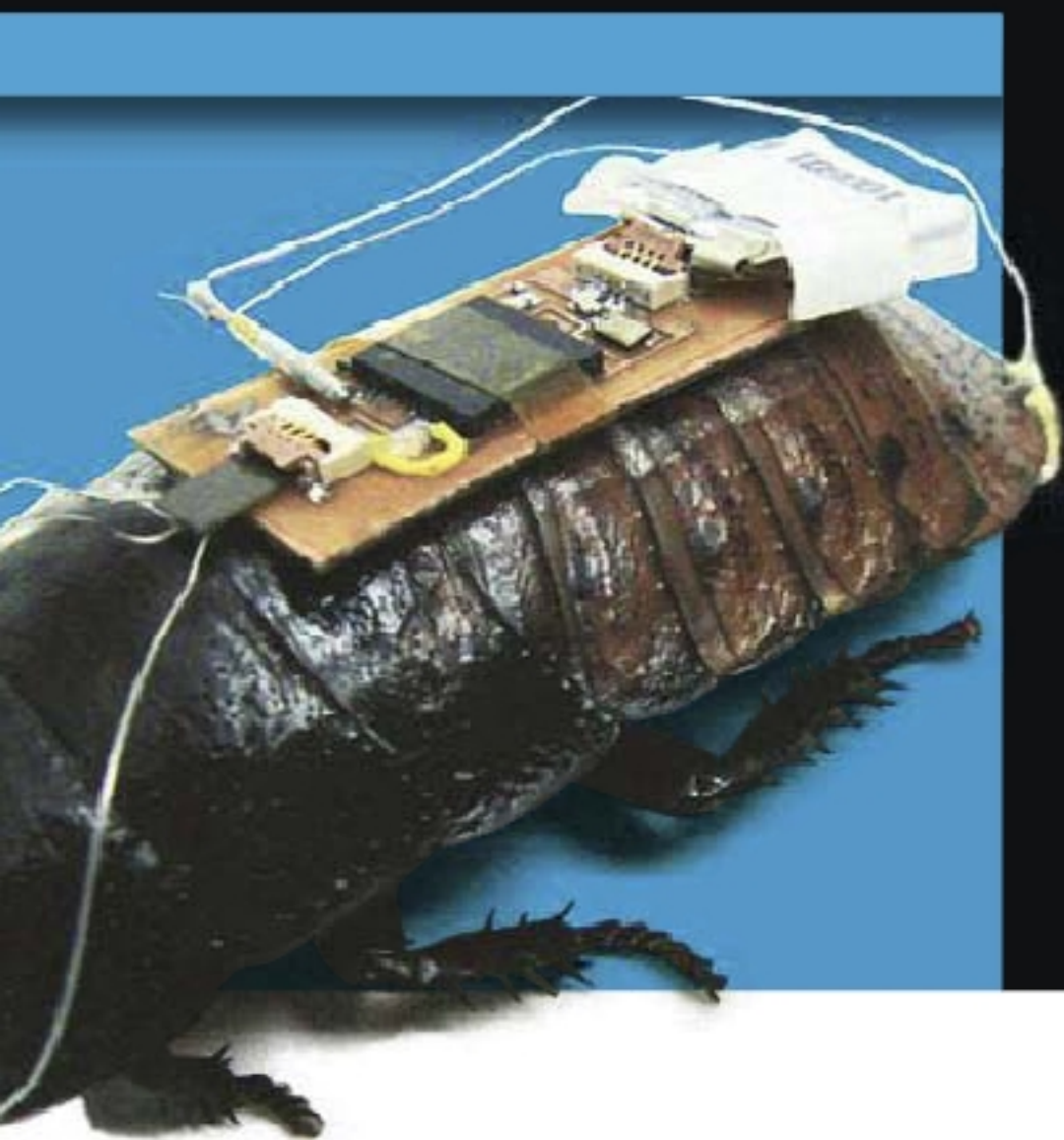
BIO-ROBOTIQUE

Le cafard télécommandé est né

"Piloter" un cafard vivant, en lui imposant d'effectuer des mouvements via un joystick : c'est ce qu'ont réussi des chercheurs de la Darpa (l'agence américaine des programmes de recherche avancée de défense). L'animal est équipé d'un système qui envoie à volonté de petites impulsions électriques sur ses antennes et son arrière-train, afin de simuler un obstacle ou un prédateur. Il avance ainsi dans la direction voulue. Ces insectes pourraient être équipés de caméras miniatures et utilisés pour rechercher des victimes, notamment lors de séismes. G.S.



< 838 mètres : le plus haut gratte-ciel du monde va être construit en Chine en un temps record via des assemblages préfabriqués.



MATÉRIAU

UNE "ÉPONGE CHIMIQUE" PEUT EXTRAIRE L'URANIUM DES MERS

Extraire de l'uranium directement dans l'eau des océans pourrait bientôt devenir une réalité. Des chercheurs américains de l'Energy's Oak Ridge National Laboratory (ORNL) auraient en effet résolu le problème de son extraction. Jusqu'à présent, la très faible concentration de cet uranium – environ 3,2 microgrammes par litre – rendait le coût de ce type d'opération trop élevé, malgré un fort potentiel de ressources : il y aurait près de 4,5 milliards de tonnes d'uranium naturel dans les océans, qui pourraient alimenter les centrales nucléaires pendant des siècles ! Nommé HiCap, le matériau développé par les scientifiques serait capable d'extraire de cinq à sept fois plus d'uranium, et sept fois plus vite que les meilleurs adsorbants actuels au monde. De petit diamètre, le HiCap est constitué de fibres de polyéthylène de grande superficie, tapissées avec des composés chimiques ayant une grande affinité avec l'uranium. Le combustible nucléaire est ensuite récupéré grâce à une dilution dans de l'acide et l'adsorbant peut être régénéré grâce à un simple lavage à la potasse. Plus économique, de grande capacité et réutilisable, cette "éponge" à uranium est peut-être une solution viable au problème de pénurie d'uranium terrestre qui se profile dangereusement. J.J.



▲ Le HiCap est un matériau à base de fibres de polyéthylène et de composés chimiques ayant une grande affinité avec l'uranium.

BROAD GROUP - A. BORKURT/NORTH CAROLINA STATE UNIV. - J. RICHARDS/ORNL

J'AIMERAIS FAIRE POUSSER LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES COMME DES CORAUX

SON IDÉE

LUKE BAWAZER, post-doctorant en biochimie à l'université de Leeds (Angleterre)

Science & Vie : Comment vous est venue cette idée ?

Luke Bawazer : En discutant ! À l'université de Santa Monica, en Californie, mon directeur de thèse, Dan Morse, étudiait les silicatéines. J'ai tout de suite été fasciné par ces protéines à l'origine de la croissance des coraux : capables de fabriquer des biominéraux naturels comme les os, les dents ou les coquillages, elles constituent une super boîte à outils qu'il ne reste plus qu'à exploiter ! Et j'ai commencé à rêver... Si, en les faisant évoluer, on pouvait créer de nouveaux biominéraux ? En discutant avec des ingénieurs, l'idée m'est venue de synthétiser des composants électroniques, de la même manière que les coraux fabriquent leur squelette ou les crustacés leur carapace.

S&V : Comment obliger ces protéines à fabriquer des matériaux sur mesure ?

L.B. : Il "suffit" de contrôler le milieu dans lequel elles

évoluent. Si ces protéines fabriquent dans la nature des minéraux qui seront à la base d'os ou de corail, c'est parce qu'elles ont à leur disposition du calcium ou du fer. Ainsi, en les plongeant dans des environnements riches en silicium et en développant les bons processus de sélection, nous pourrions les forcer à évoluer jusqu'à fabriquer des matériaux intéressants pour l'électronique.

S&V : Avez-vous expérimenté le concept ?

L.B. : Oui. Nous avons plongé des silicatéines dans un milieu enrichi en nanoparticules d'oxyde de silicium. Dans nos boîtes de Petri se sont alors déposés de fines feuilles, des filaments et même des réseaux cristallins composés de silicium ! Nous n'en sommes pas encore à faire pousser des composants électroniques... mais nous avons montré que nous pouvions faire pousser des matériaux en laboratoire.

Si l'on parvenait à contrôler les protéines qui, dans la nature, façonnent le squelette des coraux marins ou les carapaces des crustacés, on pourrait produire des composants sur mesure pour l'électronique, en les laissant tout simplement... pousser en laboratoire ! De quoi économiser de l'énergie et de l'argent par rapport aux procédés de gravure actuels.

S&V : Quelles sont les étapes suivantes ?

L.B. : Il y a encore beaucoup à faire pour contrôler la composition et la structure des matériaux. Il faut d'abord mieux comprendre les processus de biominéralisation, et en particulier le rôle qu'y jouent les enzymes : elles cassent et créent des liaisons chimiques, mais on ne sait pas encore comment.

S&V : Mais vous imaginez déjà les avantages de votre méthode...

L.B. : Elle est rapide et elle se fait dans l'eau et à température ambiante. Elle sera donc peu coûteuse et économe en énergie : plus besoin de modeler les matériaux à haute température comme dans l'industrie micro-électronique. Et les possibilités sont infinies : faire pousser des nanodiodes grâce à la fluorescence de certaines protéines ; des matériaux magnétiques via certains métaux... On peut tout imaginer !

Propos recueillis par M.F.

Nouveau!

N° 240 NOVEMBRE 2012

RÉPONSES PHOTO

RÉPONSES

PHOTO

GRAND CONCOURS
**DEVENEZ
LE PHOTOGRAPHE
DE L'ANNÉE**
4500 € de prix
à gagner!

MONDADORI FRANCE

NOUVEAU!

MATÉRIEL

**50 NOUVEAUTÉS
MARQUANTES
DE 2013**

- **NIKON D600**
déjà en test
- **SONY ALPHA 99**
première prise en main

PORTFOLIO

◀ **LOUIS BLANC**
Autoportraits décalés

REPORTAGE

SUR UN FIL
Prises de vue extrêmes

CAHIER CULTURE

**EXPOS, LIVRES
FESTIVALS...**
30 pages de rendez-vous

Les secrets du **PORTRAIT**

54 pages d'inspiration et de conseils

- Enquête : sur une séance photo avec un pro
- Pratique : bien choisir sa focale
- Tendances : le strobisme expliqué
- Coulisses : une retouche naturelle pas à pas


EN VENTE ACTUELLEMENT

COMPRENDRE • S'INSPIRER • CRÉER

FINANCE, BIOLOGIE, MÉDECINE, INFORMATIQUE, ASTROPHYSIQUE...

LA FORMULE QUI DECRYPTE LE MONDE

VIEILLE DE TROIS CENTS ANS,
ELLE RÉVOLUTIONNE TOUTES LES SCIENCES



Une formule magique ! S'appliquant à n'importe quel phénomène, elle produit des résultats, livre des découvertes, établit des vérités. Mieux : des neurologues y voient la clé de notre façon de penser ! Pourtant, cette formule est simplissime et connue... depuis trois siècles. Oui, mais ce n'est qu'aujourd'hui qu'elle dévoile son incroyable puissance. Son nom ? La formule de Bayes.

**PAR MATHILDE FONTEZ
ET ROMÁN IKONICOFF
AVEC BORIS BELLANGER,
FIORENZA GRACCI, FRANÇOIS
LASSAGNE, HERVÉ POIRIER
ET EMILIE RAUSCHER**

C'est une petite formule mathématique de rien du tout. Une égalité arithmétique tout ce qu'il y a de plus banal. Et pourtant, elle est en train de provoquer un véritable raz de marée à travers tous les domaines de la science. Un rapide survol par mots-clés du panorama mondial des publications scientifiques en témoigne : cette formule apparaît aujourd'hui dans des secteurs aussi disparates que l'informatique, la sismologie ou la climatologie.

Mais aussi dans *"le diagnostic médical, l'écologie, l'astronomie, la production industrielle, les sciences du comportement..."*, ajoute Philippe Leray, directeur du Laboratoire d'informatique de l'Ecole polytechnique de l'université de Nantes. *"La physique des particules, la chimie, la bio-informatique, la génétique..."*, complète Jean-Michel Marin, professeur à l'Institut de mathématiques et modélisation de l'université de Montpellier. N'en jetez plus ! →

Ainsi s'écrit la formule de Bayes

Son secret réside dans trois fonctions probabilistes qui permettent d'en calculer une quatrième. Elle se lit comme suit : la probabilité de A sachant B est égale à la probabilité de B sachant A multipliée par la probabilité de A divisée par la probabilité de B.

Confrontant deux événements l'un à l'autre, la formule quantifie donc la probabilité pour l'un d'induire l'autre, remontant ainsi des conséquences vers les causes pour comprendre les phénomènes de la nature.

Événement dont on cherche à évaluer la probabilité. Par exemple, va-t-il pleuvoir ?

Événement auquel on souhaite confronter l'événement A. Il peut s'agir d'une connaissance préalable (la météo prévoyait 70 % de risques d'averse) ou d'une observation dont on vient de prendre connaissance (il y a des nuages).

$P(A|B)$

Probabilité a posteriori de A. Voici l'objet du calcul : ce terme quantifie la probabilité que l'événement A se réalise, sachant qu'un événement B a eu lieu (quelles sont les chances qu'il pleuve, sachant qu'il y a des nuages ?).

→ Telle une lame de fond, cette formule se retrouve depuis une décennie dans tous les domaines. A la clé ? Une incroyable moisson de découvertes et d'inventions ! Dans les sciences fondamentales, mais aussi au quotidien.

À LA PORTÉE D'UN LYCÉEN...

Chaque jour, dans les PC et les Mac du monde entier, elle permet de débusquer les messages publicitaires parmi les flots d'e-mails reçus ; on la trouve à la racine de programmes informatiques qui traquent les fraudes bancaires ; et jusque dans les voitures, où elle commande des dispositifs d'aide à la conduite. Comme une consécration, la vénérable Food and Drugs Administration américaine recommande même son utilisation pour évaluer l'efficacité des médicaments ! *"Difficile de trouver des domaines où cette formule ne pourrait pas rendre d'énormes services"*, résume Jean-Michel Marin. Certains parlent d'"explosion", d'autres crient à la "révolution". Après des siècles de relative discrétion, cette égalité est en train de devenir la clé de la compréhension du

monde. La formule qui décrypte tous les phénomènes de la nature.

Elle n'a pourtant rien de neuf. Esquissée pour la première fois en 1748 par un pasteur presbytérien britannique nommé Thomas Bayes, cette égalité – logiquement baptisée "formule de Bayes" – a trouvé sa forme définitive trente ans plus tard, sous la plume du mathématicien français Pierre-Simon Laplace. Depuis, elle est une formule classique des livres de maths et des formulaires destinés aux étudiants, à côté des produits remarquables, des

CETTE ÉGALITÉ MAGIQUE EST EN TRAIN DE DEVENIR LA CLÉ DE LA COMPRÉHENSION DU MONDE

équations du second degré et des expressions trigonométriques. Cette formule, dont la démonstration tient en quelques lignes à la portée d'un lycéen, appartient au corpus des probabilités, cette théorie mathématique des lois du hasard et de l'incertitude. Elle s'écrit : $P(A/B) = P(B/A) \times P(A) / P(B)$.

Que signifie exactement cette poignée de termes kabbalistiques ? Et d'où tirent-ils le pouvoir de révolutionner tous les domaines des sciences ?

La réponse à ces questions dépasse largement la mise au point d'un nouvel outil scientifique, aussi efficace soit-il. Celle qui fut longtemps la belle endormie des livres de probabilités se révèle en effet être le meilleur guide pour celui qui tente, vaille que vaille, d'en apprendre un peu plus sur le monde qui l'entoure en puisant dans ses expériences et ses observations de

quoi forger ses repères, ses convictions, voire sa personnalité. Le secret de la formule de Bayes ? C'est la formule de l'apprentissage, la

formule de l'attention, de la volonté de comprendre. Bref, la formule de la pensée en marche !

Plus prosaïquement, elle se lit comme suit : la probabilité de A sachant B est égale à la probabilité de B sachant A multipliée par la probabilité de A, le tout divisé par la probabilité de B.

$$\frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Nommé "fonction de vraisemblance de A", ce terme quantifie la probabilité de l'événement B, sachant que l'événement A s'est produit (quelles sont les chances qu'il y ait des nuages s'il pleut?). C'est grâce à lui que la formule remonte depuis les conséquences vers les causes.

Probabilité a priori de A: c'est la chance qu'avait l'événement A de se réaliser avant que l'on connaisse l'événement B (la probabilité qu'il pleuve).

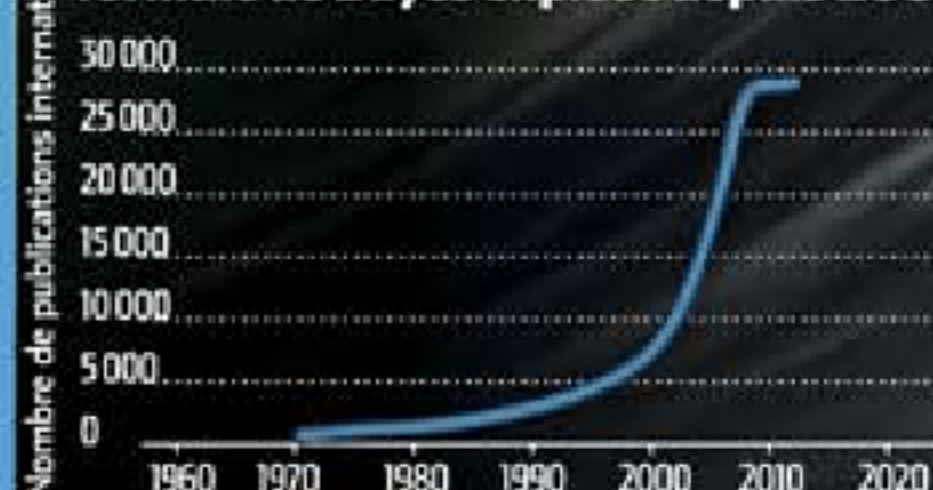
Probabilité a priori de B: ce terme quantifie la chance que l'événement B se réalise, sans considérer l'événement A (la probabilité qu'il y ait des nuages).

En clair, elle permet de calculer la façon dont évolue la probabilité d'un événement A, sachant qu'un autre événement B a eu lieu. Par exemple: quelle est la probabilité qu'il ait plu sachant que le trottoir est mouillé? Eh bien, le révérend Bayes nous révèle qu'elle est égale à la probabilité que le trottoir soit mouillé sachant qu'il a plu, multipliée par la probabilité qu'il ait plu, divisée par la probabilité que le trottoir soit mouillé. Le calcul est simple. Et d'une efficacité redoutable (voir encadré ci-dessus). L'égalité calcule des probabilités subjectives qui dépendent des informations dont dispose celui qui calcule. En l'occurrence, les chances que j'accordais à la pluie ont augmenté depuis que j'ai constaté que le trottoir est mouillé... et la formule de Bayes calcule avec une précision incomparable de combien exactement.

Cette première lecture de la formule permet déjà de comprendre ce qu'elle peut apporter aux différents domaines scientifiques. Quelle est la probabilité qu'une certaine loi physique, géologique ou biologique soit vraie sachant →

> Oubliée pendant 250 ans, reléguée aux manuels de statistiques, la petite formule du révérend est aujourd'hui utilisée par les chercheurs du monde entier. En 2010, près de 30 000 publications y ont eu recours.

Le nombre de publications utilisant la formule de Bayes explose depuis 2000

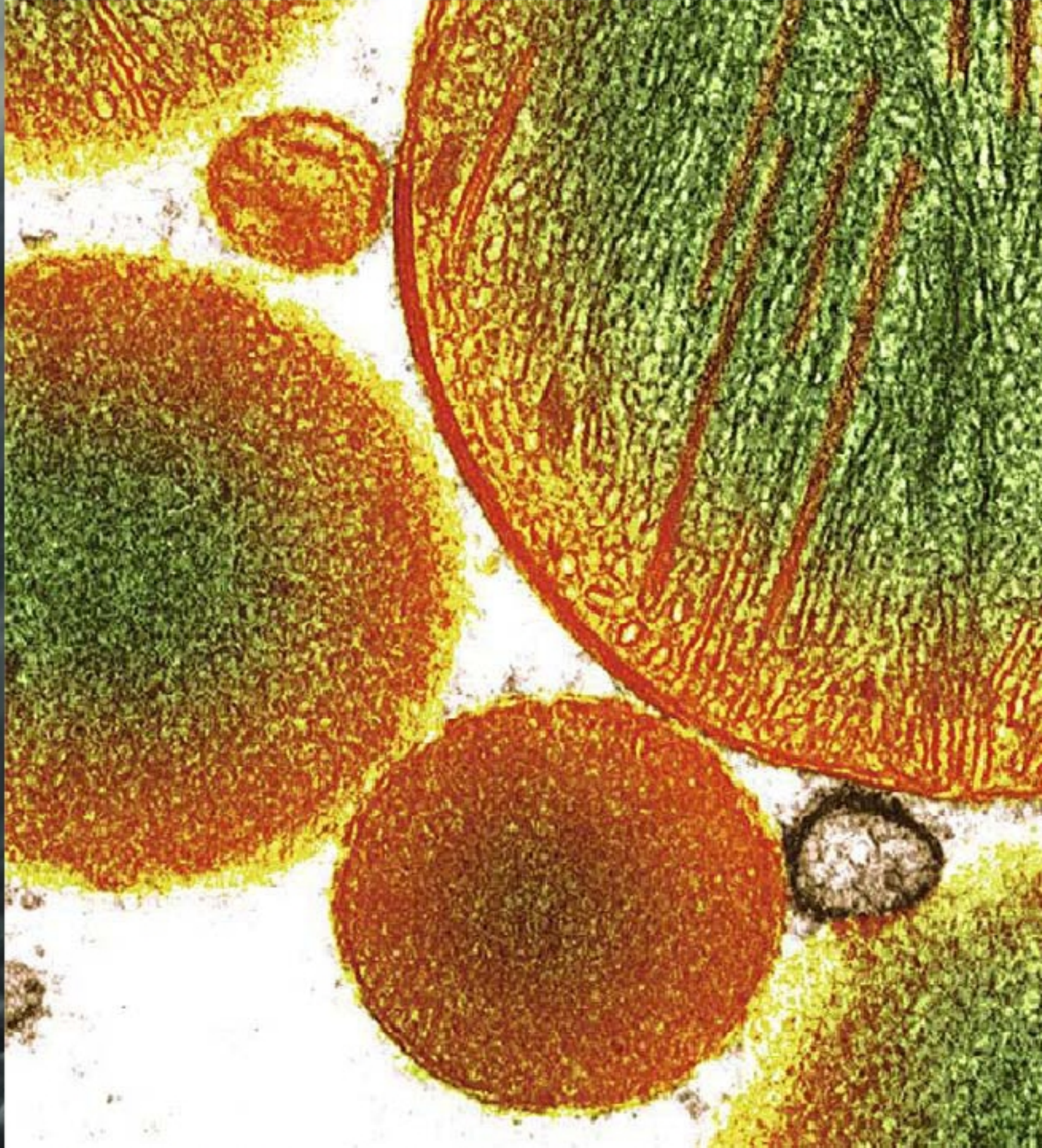


→ les résultats de la nouvelle expérience qui vient d'être réalisée? Quelle est la probabilité que tel mécanisme génétique, climatique ou écologique soit la cause de telle maladie, tornade ou extinction? Ce sont bien à de tels types de question que s'attachent les chercheurs dans tous les domaines. La formule sert ainsi à quantifier la pertinence de ce que l'on croit savoir (A), à l'aune de ce que l'on apprend (B). Posant que la probabilité de A sachant B dépend de la probabilité de B sachant A, elle mime les allers-retours d'une pensée prête à remettre en cause ses fondements. Elle détricote les relations entre les causes et les effets dans la quête d'une vision plus solide.

METTRE LA FORMULE EN RÉSEAU

Voilà, au fond, la source du pouvoir de la formule de Bayes: c'est une machine à comprendre les phénomènes de la nature. Elle mesure, chiffres à l'appui, l'adéquation entre le corpus théorique et les nouvelles expériences et observations réalisées. Elle soupèse la force de chaque hypothèse, prête à remettre en question les *a priori* ou, au contraire, à les renforcer si les nouvelles informations vont dans leur sens. Elle renforce les liens existant entre les causes et les effets à mesure que les connaissances s'accumulent: elle actualise les savoirs. C'est un outil miraculeux qui automatise le décryptage du monde, formalisant mathématiquement les incessants mouvements de pensée entre les phénomènes observés et le savoir emmagasiné. La transposition, sous une forme mathématique, de la dynamique du progrès scientifique lui-même... A tel point que certains militent pour que toute publication scientifique soit désormais accompagnée d'un coefficient bayésien mesurant sa pertinence et son apport scientifique réel. La formule du révérend comme critère de vérité!

Question: pourquoi cette formule magique, connue depuis plus de deux siècles et apprise dans toutes les écoles, ne se révèle-t-elle que maintenant? D'abord, parce que les scientifiques ont longtemps considéré qu'ils →



LA PUISSANCE DE LA

LE JEU

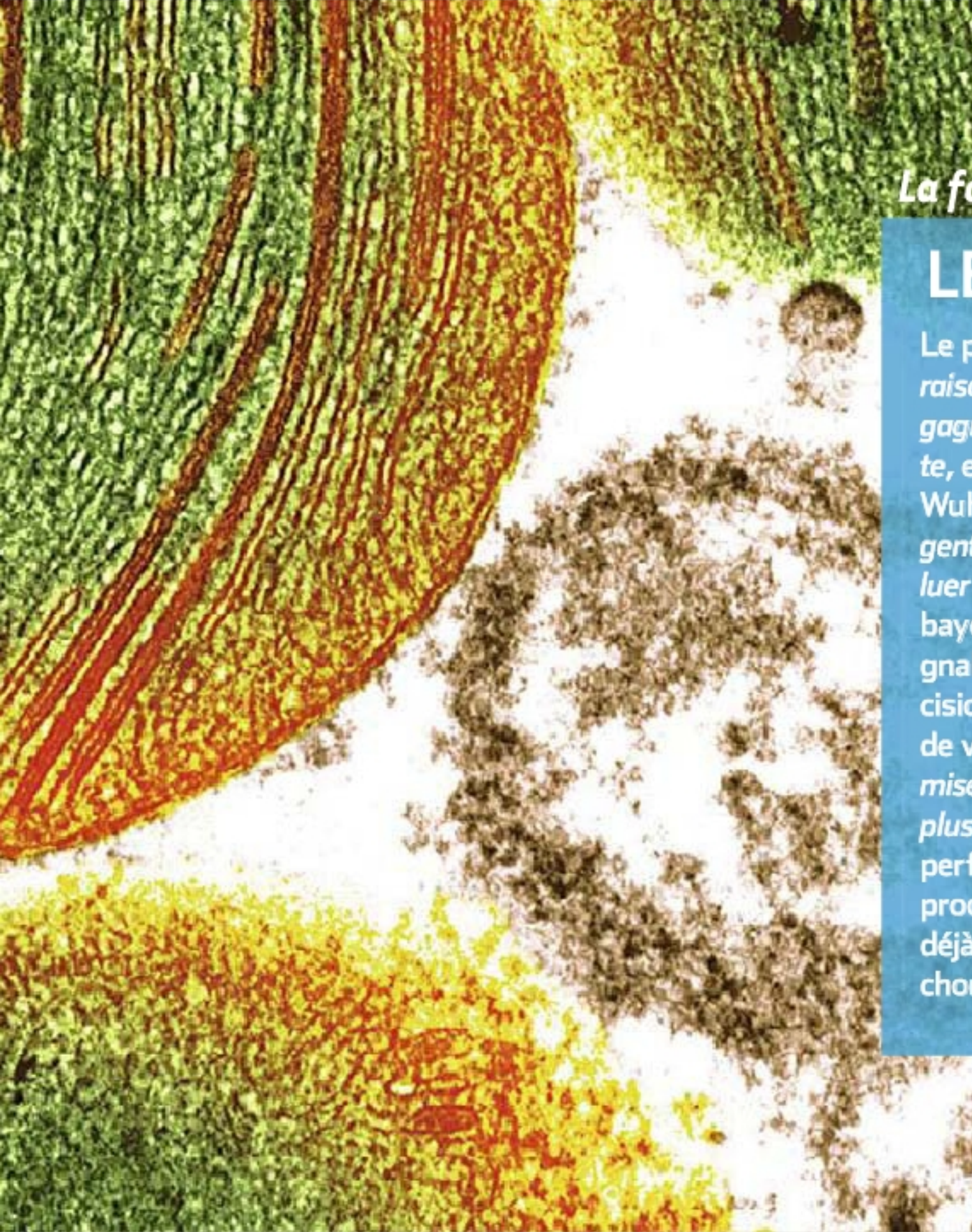
Il nécessite un organisateur, un joueur, trois gobelets opaques (notés 1, 2 et 3) et un anneau. Objectif: estimer ses chances de trouver l'anneau au cours de deux étapes:

1^{re} étape: le joueur désigne un des gobelets et estime ses chances de succès. Il ne peut s'en remettre qu'au hasard pour choisir (par exemple le gobelet 1) et annoncer qu'il a une chance sur 3 de gagner. Jusqu'ici, tout va bien.

2^e étape: l'organisateur montre qu'un des deux gobelets non désignés ne cache pas l'anneau (par exemple le 3). Et repose la question: parmi les deux restants, lequel choisir? Et avec quelle assurance? A première vue, il n'y a plus que deux possibilités et donc 1 chance sur 2 de gagner... Eh bien non! L'anneau a 1 chance sur 3 d'être dans le gobelet 1 et 2 chances sur 3 d'être dans le gobelet 2! Vous n'avez rien compris? Alors calculez!

LE CALCUL BAYÉSIEEN

Le fait que l'anneau soit caché dans le gobelet 1 est appelé événement "A1", et la probabilité de cet événement est notée "P(A1)" – idem pour les gobelets 2 et 3. Dans la première étape, le joueur a parié sur l'événement A1 et annon-



La formule qui décrypte...

LES SECRETS DU VIVANT

Le problème paraissait insurmontable: "Pour des raisons techniques, en microscopie, dès que l'on veut gagner en détails, on capte moins d'images par minute, explique Tingwei Quan, de l'université chinoise de Wuhan. Or, pour comprendre les mécanismes qui siègent au cœur des cellules vivantes, il faut les voir évoluer presque en temps réel." Mais grâce aux réseaux bayésiens, Tingwei Quan a réussi à optimiser le signal perçu par un microscope et à augmenter la précision de son image, sans abaisser la vitesse de prise de vue. "La méthode bayésienne nous permet d'optimiser le signal du microscope car elle le fait ressortir plus efficacement du bruit de fond", précise-t-il. Une performance qui donne l'espoir de voir, enfin, les processus cellulaires à l'œuvre. Les chercheurs sont déjà en train de tester leur méthode sur les mitochondries, ces générateurs d'énergie cellulaires.

FORMULE EXPLIQUÉE PAR UN JEU

ce que $P(A1) = 1/3$. C'est exact. L'organisateur dévoile alors le gobelet 3, qui est vide (événement "N3"). Il s'agit alors de calculer la probabilité $P(A1/N3)$ que l'anneau soit caché sous le gobelet 1, sachant que le 3 est vide. C'est là qu'intervient la formule de Bayes: elle nous affirme que $P(A1/N3) = P(N3/A1) \times P(A1)/P(N3)$.

Il suffit alors de calculer:

- $P(N3/A1)$: la probabilité que l'organisateur montre le gobelet 3 sachant que l'anneau est dans le 1. L'organisateur peut montrer le gobelet 2 ou le 3, tous les deux vides. Il y a une chance sur deux qu'il montre le 3: $P(N3/A1) = 1/2$.
- $P(A1)$: la probabilité que l'anneau se cache derrière le gobelet 1 est toujours d'une chance sur trois: $P(A1) = 1/3$.
- $P(N3)$: pour calculer la probabilité que l'organisateur montre le gobelet 3, il faut distinguer les positions possibles de l'anneau. Dans 1 cas sur 3, l'anneau est dans le gobelet 1 et il y a alors 1 chance sur 2 que l'organisateur montre le 3: cet événement a donc $1/3 \times 1/2$ chances d'advenir. Dans 1 cas sur 3, l'anneau est dans le gobelet 2, et l'organisateur est obligé de montrer le 3: la pro-

babilité est ici de $1/3 \times 1$. Enfin, dans 1 cas sur 3, l'anneau est dans le 3 et l'organisateur ne peut pas le montrer: la probabilité de cet événement est donc $1/3 \times 0$. La probabilité que le gobelet 3 soit montré vaut donc: $1/3 \times 1/2 + 1/3 \times 1 + 1/3 \times 0$, soit $1/6 + 1/3$: $P(N3) = 1/2$. Tous les termes de la formule sont maintenant dotés de leur valeur numérique: $P(A1/N3) = P(N3/A1) \times P(A1)/P(N3) = (1/2 \times 1/3)/1/2 = 1/3$. Autrement dit, la probabilité que l'anneau soit derrière le gobelet 1 n'est que d'une chance sur 3. Et comme il est forcément quelque part... il a 2 chances sur 3 d'être dans le gobelet 2!

L'ASTUCE DE BAYES

Si l'organisateur sait que le gobelet 1 est vide, il n'a pas d'autre choix que de montrer parmi les deux autres celui qui est vide, indiquant ainsi que c'est le 3 qui cache l'anneau! Bien sûr, si le joueur touche dans le mille dès le premier choix, l'organisateur peut choisir n'importe lequel des deux autres gobelets: mais cela n'arrive qu'une fois sur 3. Le révérend Bayes nous recommande donc chaudement de changer d'avis... car cela permet d'avoir raison à la seconde étape si on a tort à la première!

La formule qui décrypte...

L'ÉVOLUTION
DES ESPÈCES

L'homme serait bel et bien responsable de l'extinction de l'ours des cavernes. *"Non parce qu'il l'a trop chassé, précise Michael Knapp, de l'université d'Otago (Nouvelle-Zélande). Mais parce qu'il entrainait en compétition avec lui pour l'occupation des grottes!"* C'est l'analyse bayésienne de séquences d'ADN prélevées sur des fossiles d'ours, retraçant l'évolution de la population sur les 150 000 dernières années, qui a conduit à cette conclusion... dernier succès d'une méthode devenue un *must* pour étudier la génétique des populations. *"Depuis que l'on peut récolter suffisamment d'ADN sur du matériel ancien, les statistiques bayésiennes ont contribué à démêler de nombreuses questions",* confirme Michael Knapp. Et parfois, l'homme en sort blanchi ! Comme dans le cas du bœuf musqué, dont le déclin – on vient de le découvrir – serait finalement lié au climat...



→ n'en avaient pas besoin. Ils disposent en effet d'un outil, la statistique, dont les algorithmes sont théoriquement capables de découvrir les causes de tout phénomène, sans modèle préalable ni *a priori*. La plus importante des lois statistiques affirme en effet qu'en effectuant des mesures suffisamment de fois, les causes cachées derrière les données se dévoilent d'elles-mêmes. *"Mais pour cela, il faut disposer d'un très grand nombre d'observations,* prévient Jean-Michel Marin. *La statistique classique marche très mal quand il y a peu d'informations disponibles."* Et échoue donc à décrypter ces phénomènes qui sont l'aboutissement d'un enchaînement de causes enchevêtrées et liées entre elles – des "paramètres corrélés". Prenons l'exemple d'un cas simplissime : un phénomène dépendant de n paramètres cachés ne pouvant prendre que deux valeurs (0 ou 1) demanderait quelque $2 \times n$ observations successives pour faire apparaître ses causes. En clair, si 100 gènes jouent un rôle dans le déclenchement d'un certain type de cancer,

il faudrait dresser la carte génétique de 2^{100} individus atteints de la maladie... c'est-à-dire de quelque mille milliards de milliards de milliards pour connaître l'origine du mal ! Infaisable.

Naissance d'une tornade ; accélération d'un vent stellaire ; origine génétique

ELLE ACTUALISE LES SAVOIRS, MÍME LES ALLERS-RETOURS DE LA PENSÉE EN MARCHÉ

d'une maladie... pour découvrir les lois qui se cachent derrière ces phénomènes complexes, il faut comprendre le réseau de leurs causes, décrypter la toile complexe des multiples événements enchevêtrés. Face à la démission des statistiques classiques, les chercheurs n'avaient pas le choix : ils étaient obligés de construire des modèles théoriques en accordant leur confiance à certaines lois parmi la multitude de celles possibles. Et pour faire ce choix, pour déterminer parmi toutes les causes imaginables

celles qui leur semblaient pertinentes, ils fonctionnaient peu ou prou à l'intuition : ils puisaient dans leurs connaissances, espérant contrebalancer le déficit en données... Soit très exactement ce que fait la formule de Bayes, mais de manière rigoureuse et mathématique.

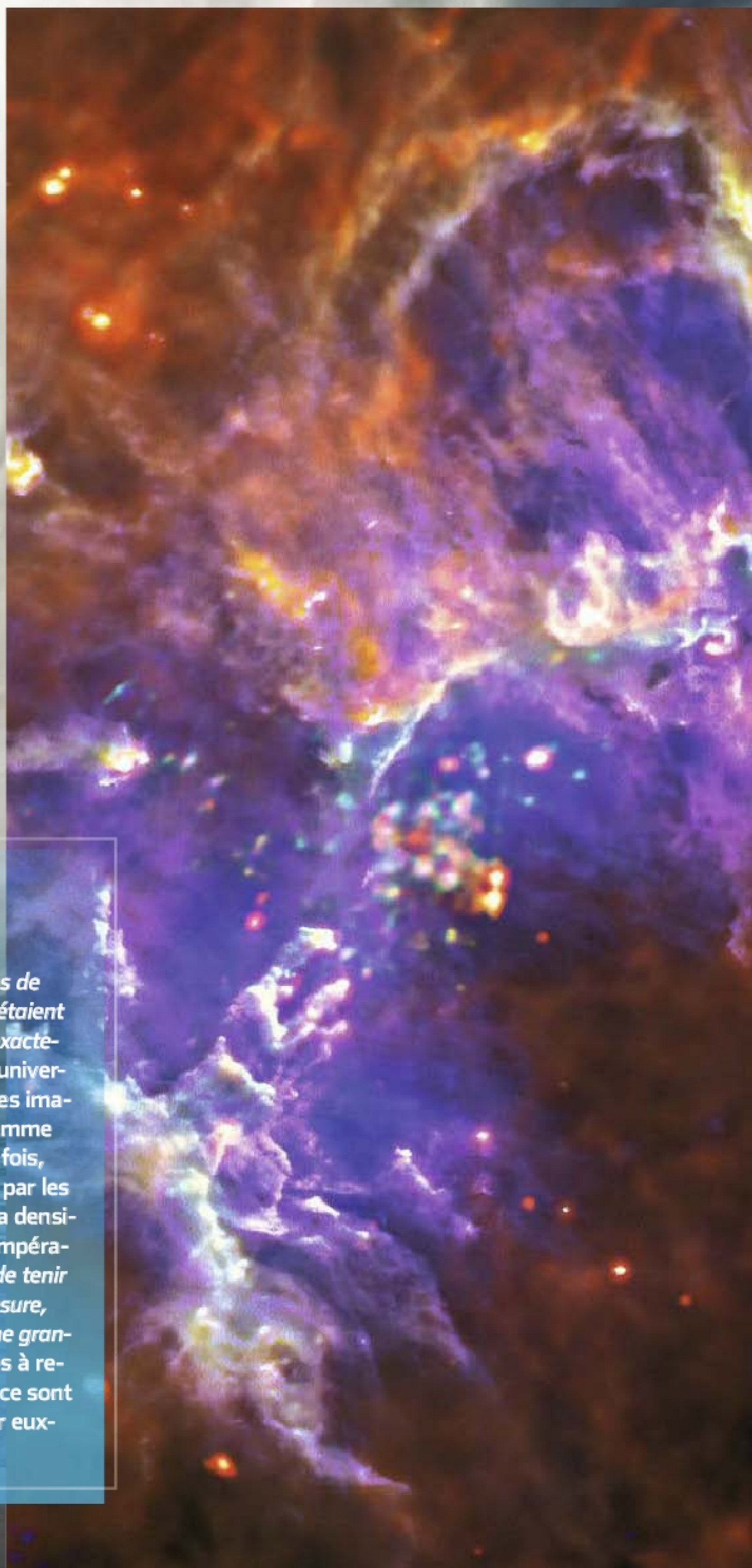
Au lieu d'être sélectionnées intuitivement, les hypothèses *a priori* sont injectées dans la formule avec des valeurs de probabilité explicites. Et pour décrypter le réseau des causes des phénomènes, il suffit de mettre la formule elle-même en réseau... *"Cette idée de réseau a été longue à émerger,* précise Christian Robert, professeur au Centre de recherche en mathématiques de la décision de l'université Paris-Dauphine. *C'est dans les années 1980 seulement que le mathématicien américain Judea Pearl a montré qu'en alignant des centaines de formules de Bayes, il devait être possible de rendre compte des multiples causes d'un phénomène complexe."* Les ordinateurs capables de faire tourner les lourds programmes informatiques qui codent →



La formule qui décrypte...

LES MYSTÈRES DE L'UNIVERS

*"Les simulations montraient que plus les grains de poussière interstellaire étaient chauds, plus ils étaient petits... Or, nous venons de prouver que c'est exactement l'inverse!", s'exclame Rahul Shetty de l'université d'Heidelberg (Allemagne). En analysant les images du télescope *Herschel* à l'aide d'un programme bayésien, le chercheur a pu, pour la première fois, étudier la relation entre le rayonnement émis par les nuages de poussières qui peuplent l'espace, la densité des particules qui les composent et leur température. "Seule la statistique bayésienne permet de tenir compte rigoureusement des incertitudes de mesure, explique le chercheur. Et on le voit, cela fait une grande différence!" De quoi obliger les astronomes à revoir leurs modèles de formation stellaire, car ce sont ces nuages justement qui, en s'effondrant sur eux-mêmes, donnent naissance aux étoiles.*



→ les réseaux bayésiens se sont multipliés dans la foulée. Le principe est le suivant: quand on ignore les causes d'un phénomène, on construit d'abord un modèle basé sur nos connaissances *a priori* de ce que pourraient être ses causes. Puis, on les relie entre elles, comme les nœuds d'un réseau, en assignant à chacun des liens qui les joignent une probabilité *a priori* basée sur nos estimations ou sur celles d'experts. Autrement dit, chaque nœud du réseau est relié à un autre *via* la formule de Bayes. Il n'y a plus ensuite qu'à alimenter ce modèle *a priori*, qui est un programme informatique, en données de l'observation pour qu'il recalcule les probabilités en appliquant la formule de Bayes entre les nœuds du réseau. Ce processus est itéré pour chaque nouvelle donnée entrée dans le modèle et pour chaque lien entre les nœuds, jusqu'à ce que l'ordinateur affiche un graphe du réseau où chaque lien entre deux causes est pondéré d'une valeur de probabilité bien précise. Et le tour est joué!

ADAPTÉE AU TROISIÈME MILLÉNAIRE

Remontant inlassablement des événements jusqu'à leurs causes, le réseau de formules de Bayes construit des modèles de phénomènes complexes, même lorsque les observations sont insuffisantes ou noyées dans du bruit parasite. *"Leur grande force, c'est de faire la synthèse entre le dire des experts et les données brutes de l'observation quand celles-ci sont insuffisantes: la connaissance a priori comble la lacune des mesures"*, résume Pierre Bessière, chercheur au Laboratoire de psychologie de la perception et de l'action au Collège de France. Plus grande est l'ignorance, plus la formule fait montre de sa puissance... Elle est le moyen de faire de la science moderne quand la statistique classique a déjà répondu aux questions simples. Or, la marche du progrès est ainsi faite que le champ des inconnus ne cesse de s'étendre...

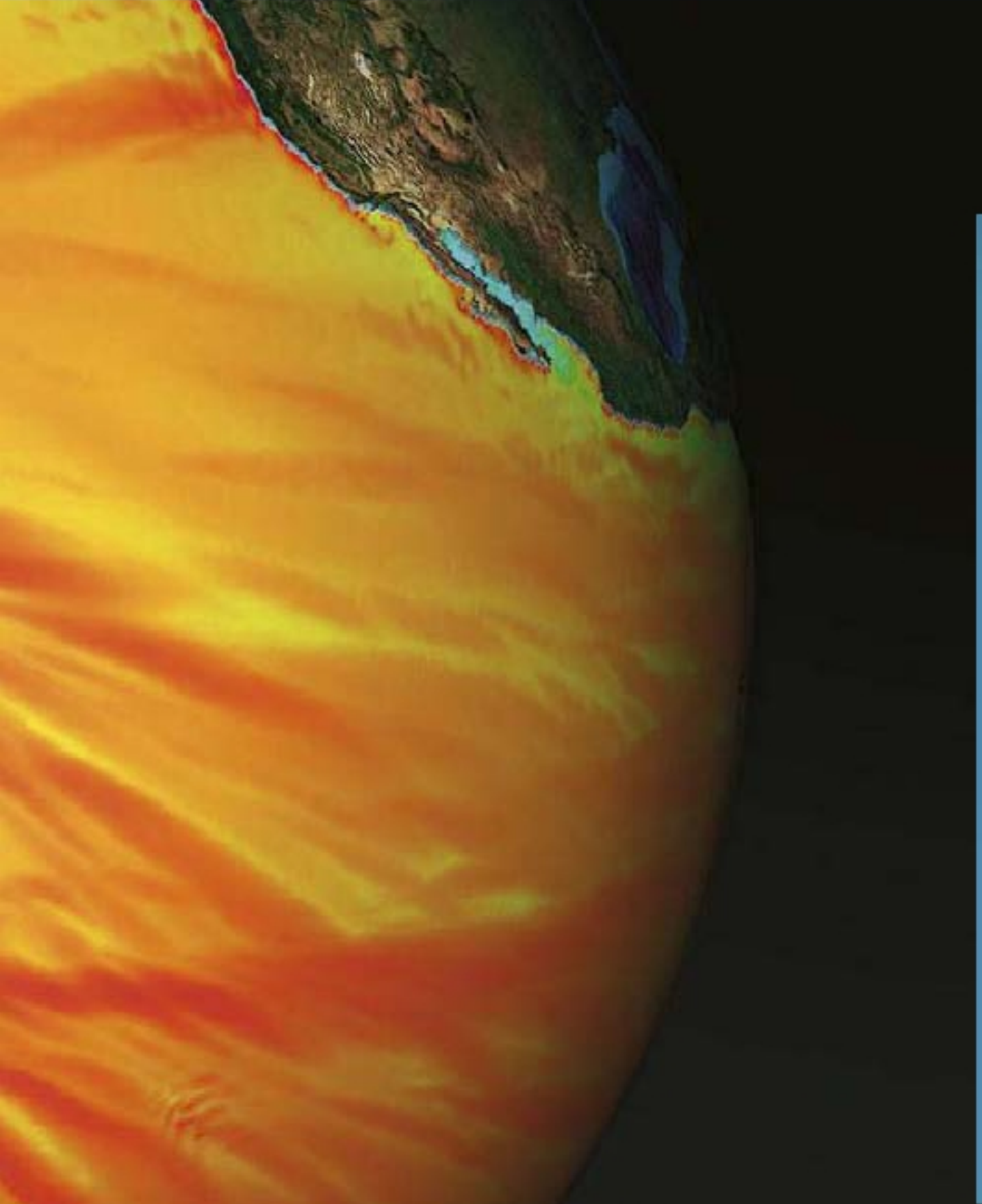
Cette formule, qui est l'expression même de l'humilité scientifique, →

MOA - INSERM

La formule qui décrypte...

L'ORIGINE GÉNÉTIQUE DES MALADIES

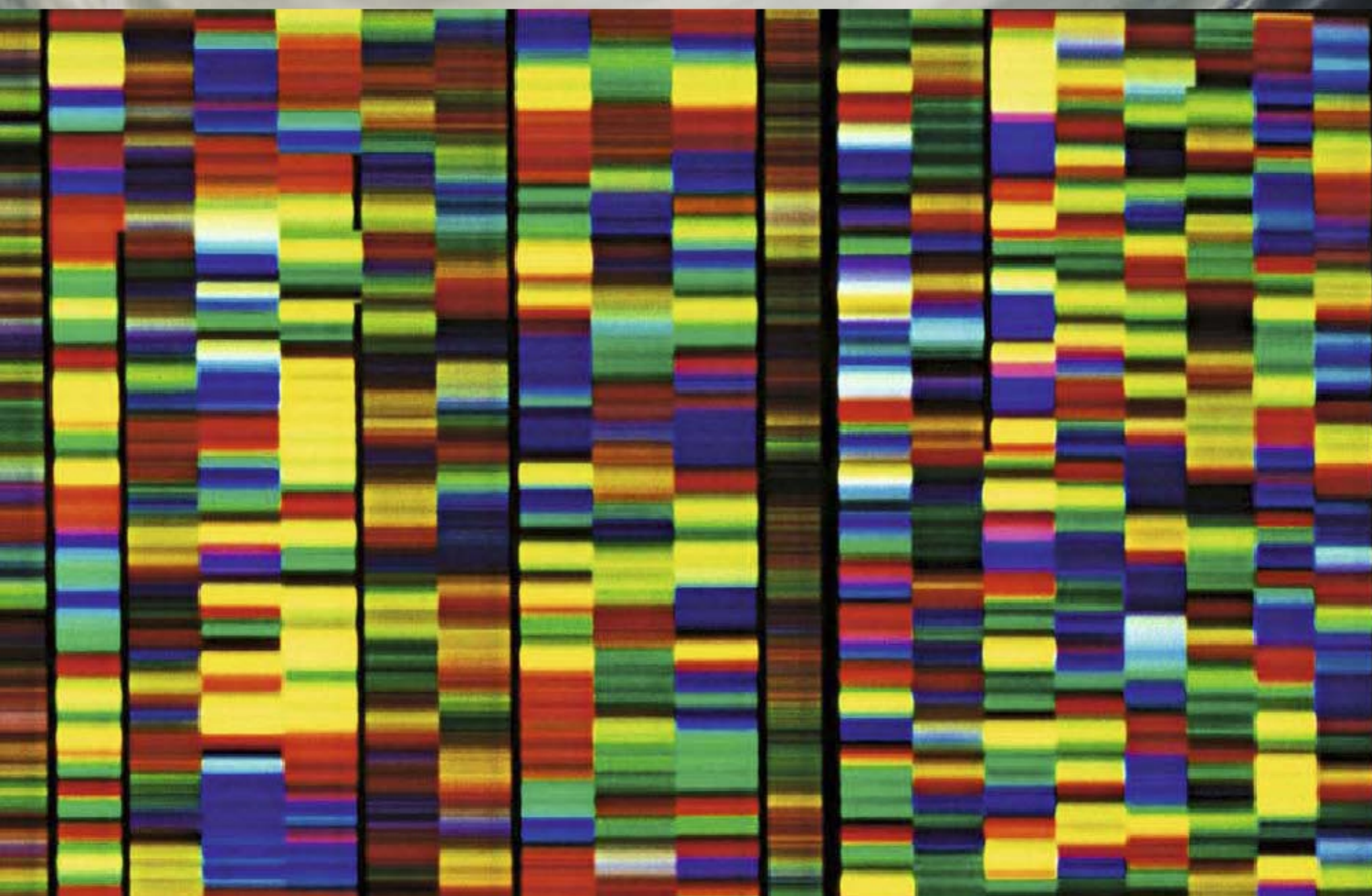
L'immense majorité des maladies ayant une composante génétique est due à des centaines de petits changements répartis le long de l'ADN... Mais sachant que d'un individu à l'autre il y a des millions de différences, comment trouver celles qui, ensemble, favorisent l'apparition du diabète par exemple? Grâce aux statistiques bayésiennes, Robert Plenge, du Brigham Womens Hospital à Boston (États-Unis), a créé un modèle capable d'estimer enfin la part de ces associations dangereuses. *"Ce qui est remarquable, s'enthousiasme le chercheur, c'est que notre modèle a pu être appliqué avec succès à quatre maladies communes: diabète, infarctus, maladie cœliaque et arthrite rhumatoïde. Il fournit une approche claire pour découvrir les combinaisons susceptibles d'augmenter le risque de développer ces maladies et... beaucoup d'autres!"*



La formule qui décrypte...

LES CATASTROPHES NATURELLES

Cartsen Riggelsen vient de gagner une course contre la montre. A l'aide des réseaux bayésiens, ce chercheur de l'université de Potsdam (Allemagne) a mis au point un programme informatique qui prédit l'arrivée et la puissance des tsunamis suffisamment tôt pour que l'on puisse évacuer les populations. *"On ne peut pas attendre d'avoir toutes les preuves pour lancer l'alerte, milite-t-il. Les modèles classiques ne peuvent qu'affirmer si oui ou non il y aura un tsunami. Or, pour cela, il leur faut amasser de grandes quantités de données. Seules les statistiques bayésiennes permettent d'évaluer la probabilité de formation d'un tsunami au fur et à mesure que les données sismiques arrivent."* Un avantage de taille quand on sait qu'entre les premiers signes de séisme et le déferlement du tsunami, il peut ne s'écouler que... cinq minutes !



→ l'essence d'une science qui se reconnaît comme dépassée par son objet, est faite sur mesure pour le troisième millénaire. Qu'il s'agisse de génétique, de climatologie, d'astrophysique ou de biologie cellulaire... tous les problèmes qui occupent actuellement les chercheurs mettent en jeu des paramètres corrélés, des réseaux de causes entremêlés. Voilà pourquoi le raz de marée bayésien déferle aujourd'hui. Voilà pourquoi la formule de Bayes n'a commencé à envahir la science qu'il y a dix ans. Et voilà pourquoi aujourd'hui, elle dévoile les mécanismes qui régissent la naissance des étoiles; évalue la hausse des températures pour les décennies à venir; retrouve les causes génétiques des maladies; retrace l'évolution des espèces... (voir encadrés).

UNE RÉVOLUTION CONCEPTUELLE

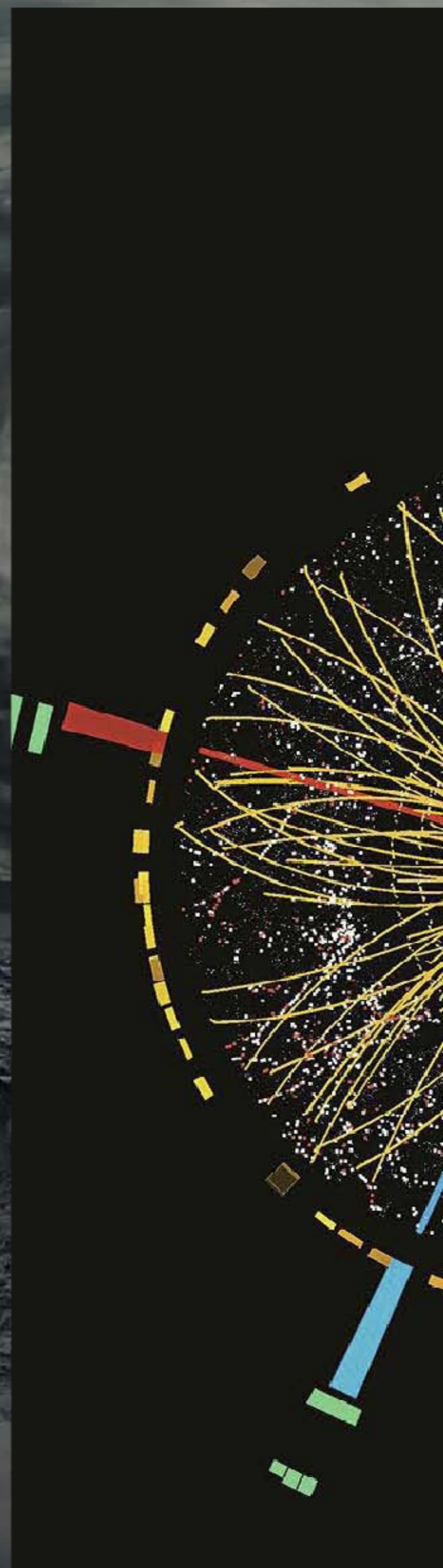
Au final, ce n'est pas seulement une révolution scientifique qui est en marche: c'est aussi une révolution conceptuelle. Alors que la science a toujours prôné une vision objective du monde, cette formule réintègre une dimension subjective: elle ne nous parle pas du monde, mais de ce que nous en savons. En faisant appel aux connaissances préalables de l'observateur,

détachées des faits eux-mêmes et qui ont un aspect... personnel, elle donne une image de la réalité extérieure tout en exprimant également la méconnaissance de l'observateur face à cette réalité. De cette petite formule ré-émerge ainsi une idée philosophique depuis longtemps débattue. *"Elle nous oblige à penser que les théories et modèles scientifiques reflètent notre représentation de la réalité plutôt que la réalité elle-même. Cette dernière se chargeant de nous fournir des données qui garantissent que notre représentation n'est pas trop éloignée de la vérité"*, résume Christian Robert. L'effet est vertigineux: en décryptant le monde, elle nous parle de nous. En remontant à la cause des phénomènes, elle formalise notre pensée. Faut-il alors s'étonner de la voir mimer notre comportement, notre manière d'apprendre, le fonctionnement de nos neurones et même... commander l'acquisition, la représentation et la transmission des informations elles-mêmes, comme des équipes de chercheurs sont en train de l'établir (voir pages suivantes)? Une chose est sûre: depuis le XVIII^e siècle, la formule du révérend a fait du chemin... Pour révéler aujourd'hui ce qu'elle est: une formule magique.

CERN

UN MOYEN EFFICACE DE FAIRE LE TRI DANS LES VÉRITÉS SCIENTIFIQUES

Faut-il affubler chaque publication d'un coefficient bayésien qui donnerait la mesure de sa pertinence? Certains chercheurs commencent à défendre ce point de vue. Aucune évaluation systématique n'a été entreprise, mais la petite formule a déjà commencé à élaguer la forêt des résultats scientifiques. Ainsi, en 2011, le statisticien néerlandais Eric-Jan Wagenmakers mettait à l'épreuve plus de 800 études en psychologie validées par des comités d'experts et publiées par de grands journaux scientifiques. Parmi elles, un rapport publié en mars 2011 par Daryl Bem, professeur de psychologie émérite à l'université Cornell (Etats-Unis) semblait montrer que l'homme pouvait prédire l'emplacement d'une image avant qu'elle n'apparaisse sur un écran... confirmant l'existence de la prescience! Verdict du révérend: 70 % des phénomènes présentés comme prouvés sont moins de trois fois plus probables que l'absence de phénomène! Autrement dit: le niveau de preuve apporté est anecdotique. Pis, il tombe dans ce cas à zéro. Cette bombe bayésienne pourrait bien faire des dégâts dans d'autres disciplines...



La formule qui décrypte...

L'AVENIR DU CLIMAT

Les climatosceptiques ne se privent pas de le rappeler : faites tourner dix simulations numériques basées sur des modèles climatiques légèrement différents, et vous obtiendrez autant de futurs pour notre planète. Alors, lequel croire ? *“C’est là que l’analyse bayésienne est essentielle”*, pointe Noel Cressie. Ce professeur de statistiques à l’université de l’Ohio (Etats-Unis) vient de développer une méthode qui détermine la probabilité associée à différents résultats de modèles et les combine pour parvenir à une projection qui fasse consensus. *“Nous avons pu ainsi démontrer qu’il y a des conclusions partagées par divers scientifiques avec une certitude, que nous pourrions dire, de 97,5 %”*. Appliquée pour l’instant au pôle du Nord, cette méthode a permis de conclure que la probabilité que le réchauffement dépasse les deux degrés Celsius à la fin du siècle s’élève à...



Information avast!



avast! a besoin de redémarrer votre ordinateur. Voulez-vous le faire maintenant ?

Oui

Non

La formule qui décrypte...

LES PROPRIÉTÉS DE LA MATIÈRE

“Grâce à la statistique bayésienne, nous explorons le paysage de l’après Higgs !”, scande Dirk Zerwas, membre de la collaboration Atlas, au Cern. Les physiciens du LHC se sont passés de la statistique bayésienne pour dévoiler la particule qui manquait au modèle standard de la physique des particules, le fameux boson de Higgs... mais ils misent sur cette méthode pour explorer les territoires inconnus qui s’étendent aujourd’hui devant eux. Qu’implique la découverte du Higgs pour les différentes théories de physique des particules ? Ses caractéristiques vont-elles défavoriser ou favoriser tel ou tel paramètre de la supersymétrie ? *“La méthode bayésienne permet d’actualiser nos connaissances à la lumière d’une nouvelle observation. Elle est donc idéale pour répondre à ces questions, répond Dirk Zerwas. Certains membres de la collaboration ont déjà obtenu des premiers résultats...”*

ELLE EST AUSSI LA CLÉ DE LA PENSÉE

Si elle décrypte le monde, la formule de Bayes décrit aussi les mécanismes du cerveau. Au point d'ouvrir sur une théorie de la pensée!

"Nous avons un petit Thomas Bayes dans le cerveau!", aime à répéter Stanislas Dehaene. Ce professeur en psychologie expérimentale du Collège de France vient de consacrer un cours entier à "La révolution bayésienne en sciences cognitives". Et le sujet lui apparaît si important qu'il a finalement décidé d'étendre son exposé sur deux ans. Pour défendre son choix, il n'y va pas par quatre chemins: "Je parle de révolution, car il n'est pas courant de voir apparaître aussi soudainement un cadre théorique qui s'infiltre dans tous les plans d'une science, explique-t-il en guise d'introduction à ses étudiants. Nous étions nombreux à penser qu'il ne pouvait y avoir de théorie générale de

IL S'AGIT DE MATHÉMATIQUES QUI PARLENT DE LA FAÇON DONT ON RAISONNE

la cognition, le cerveau étant le résultat du bricolage de l'évolution... mais cette idée est en train d'être battue en brèche par la statistique bayésienne tant ses applications sont extraordinaires."

Non contente d'être en train de révolutionner les sciences de la nature (voir pp. 48-57), la formule de Bayes étendrait donc ses pouvoirs jusqu'au comportement humain et au fonctionnement de notre cerveau. De fait, psychologues et neurologues se rendent compte que le formalisme bayésien est un outil efficace pour – enfin! – décrire leur objet. Mieux, ils commencent à

penser qu'il aurait modelé l'architecture même du cerveau à toutes les échelles, jusqu'à son niveau le plus élémentaire, le neurone lui-même. Au final, la petite formule pourrait rassembler les centaines de modèles disparates du fonctionnement cérébral et donner naissance à rien de moins que... la théorie du tout de la pensée. On comprend que le mot révolution vienne aux lèvres.

UN MÉCANISME SI... HUMAIN

Au premier abord, la formule du révérend semble pourtant loin des laboratoires de psychologie... Sauf que, comme le rappelle Stanislas Dehaene à ses étudiants: "La formule de Bayes, c'est des mathématiques, oui, mais des mathématiques qui nous parlent du raisonnement." Sous ses atours abstraits, elle reproduit un mécanisme typiquement humain: la tendance irrépressible à chercher les causes possibles des phénomènes observés, alors qu'il manque des informations; cet algorithme qui ne cesse d'actualiser tout ce que l'on sait déjà (ou *a priori*) à la lumière de nouvelles informations est, dans les faits, une véritable machine à penser. De là à imaginer la réciproque, que cet algorithme puisse décrire la pensée, il n'y a qu'un pas... que des spécialistes de la cognition sont en train de franchir allègrement.

"Au départ, les psychologues se sont penchés sur les probabilités bayésiennes pour traiter leurs résultats expérimentaux, relate Pierre Bessière, spécialiste de la statistique au Laboratoire de physiologie de la perception et de

Dès 8 mois, les enfants calculent des probabilités

Lorsque des enfants assistent à un événement peu probable (tirage d'une boule noire dans une boîte pleine de rouges), ils sont surpris (ils la regardent plus longtemps). Cela prouve qu'ils sont capables de prédire la probabilité d'un événement.



l'action au Collège de France. Mais rapidement, ils se sont aperçus qu'elle était très efficace pour décrire les phénomènes qu'ils observaient: en envisageant le cerveau comme un réseau bayésien, il semble que l'on puisse rendre compte de tous ses mécanismes." Ils ont donc transformé l'outil de calcul en modèle du comportement humain. Et les résultats n'ont pas tardé à pleuvoir. Qu'il s'agisse des mécanismes cognitifs dédiés à la reconnaissance des formes, au



contrôle des mouvements, à la reconnaissance du langage ou à l'apprentissage... des dizaines et des dizaines d'expériences montrent que la pensée prend la forme de calculs statistiques régis par la formule du révérend. *"On est en train de prouver que Bayes peut modéliser tous les aspects de la cognition!"*, s'enthousiasme Chloé Farrer, psychologue à l'université de Toulouse. Ainsi, il y a un an, a-t-elle avec son équipe testé la capacité d'un groupe de volontaires à deviner à l'avance les gestes de personnes en train de manipuler une pièce rectangulaire sur une vidéo en fonction de leurs *a priori*. *"Nous avons projeté aux participants beaucoup de films différents mettant majoritairement en scène une action, par exemple le soulèvement d'un objet, raconte la chercheuse. Puis, nous leur avons demandé de prédire la suite d'un film tronqué..."* Finalement, Chloé Farrer a constaté que lorsque les données visuelles du film sont insuffisantes, les participants le complètent

avec leurs *a priori* (ils opteront pour le "soulèvement" si la vidéo est trop courte pour trancher et s'ils ont vu beaucoup de films où la pièce était soulevée); sauf lorsqu'ils ont assez de données pour raisonner. Bref, les chercheurs ont démontré que notre raisonnement, quand nous manquons d'informations, suit un schéma totalement bayésien: il ne cesse de reconstruire l'image qu'il se fait du monde en fonction des dernières informations qu'il reçoit.

"Cela peut paraître trivial, tellement c'est évident, reconnaît la chercheuse. Mais avant cela, on n'avait jamais pu montrer clairement que le cerveau est capable de modéliser la probabilité d'une action future en confrontant sa mémoire aux informations sensorielles." Et ce don serait affûté dès notre plus jeune âge. Le cerveau serait capable dès 8 mois de construire des réseaux bayésiens, d'y intégrer les observations provenant des sens et de calculer, d'une manière exacte →



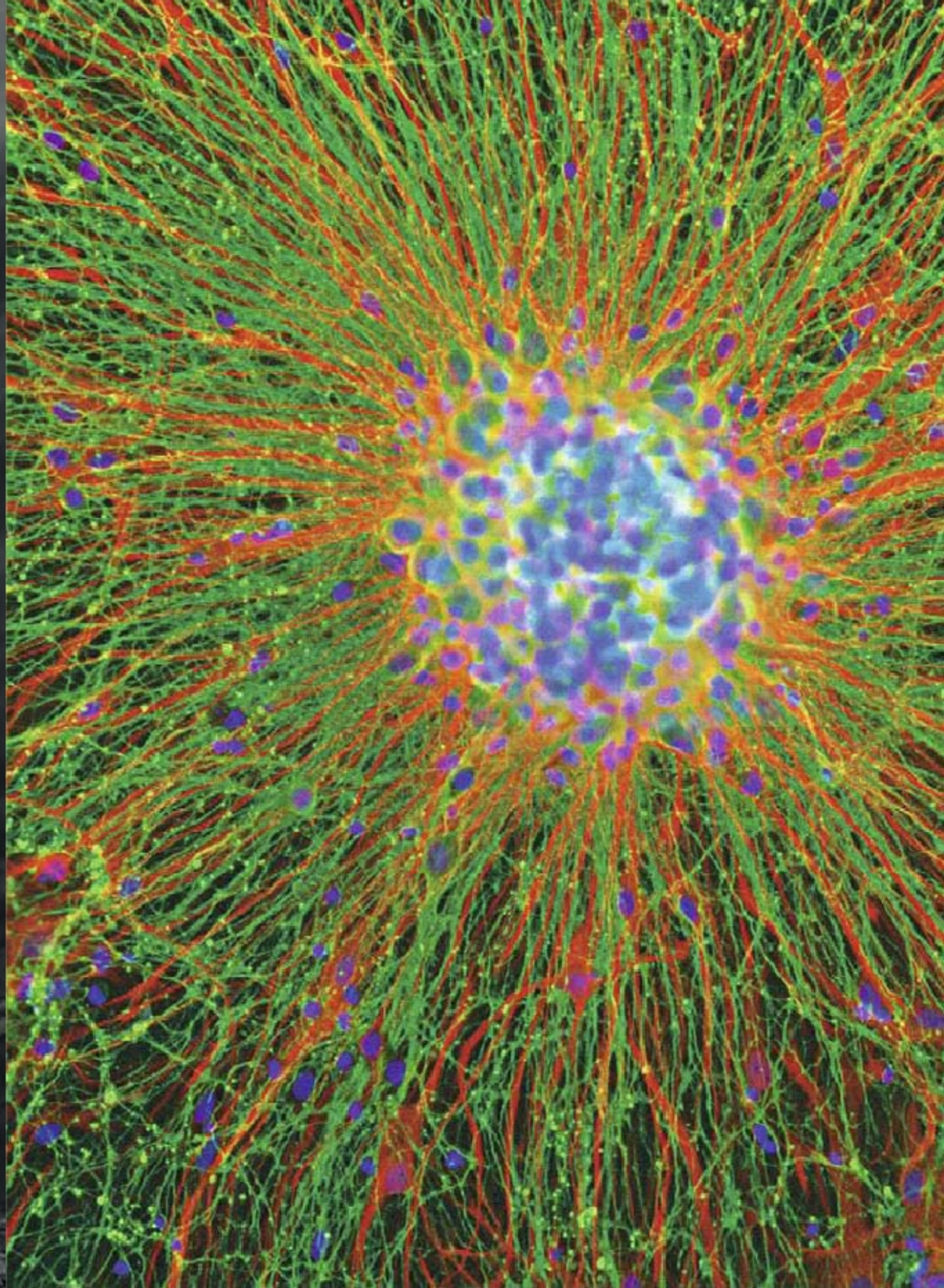
ALISON GOPNIK
PSYCHOLOGUE À L'UNIVERSITÉ
BERKELEY (ÉTATS-UNIS)

**Les enfants explorent
et comprennent le monde
en calculant des
probabilités bayésiennes**

→ mathématiquement, la probabilité d'une cause. Ainsi, le psychologue Ernő Téglás, du centre de développement cognitif de l'université de Budapest, a montré en 2011 que des enfants d'un an parvenaient à calculer des statistiques et à les réactualiser en permanence afin de prédire la couleur d'une boule qui sortait d'une enceinte. Quant à la psychologue américaine Alison Gopnik, de l'université Berkeley, en Californie, elle a prouvé dès 2004 que les enfants n'usent que de la statistique bayésienne et semblent même incapables d'utiliser une autre méthode pour raisonner!

AU PLUS INTIME DU CERVEAU...

Le test consistait à montrer un singe en peluche à des enfants de 4 ans en leur précisant que certaines fleurs le faisaient éternuer. Dans une première étape, les enfants voyaient le singe éternuer lorsqu'on lui présentait une fleur jaune et une fleur rouge, puis une jaune et une violette; en revanche, il n'éternuait pas lorsqu'il s'approchait de fleurs rouges et violettes. Interrogés, tous les enfants désignaient correctement la fleur jaune comme responsable de l'éternuement. *"Alors que les probabilités classiques leur permettent seulement de dire que le singe éternue tout le temps devant une fleur jaune et la moitié du temps devant une fleur rouge*



LA ROBOTIQUE SAUVÉE PAR LA FORMULE DU RÉVÉREND

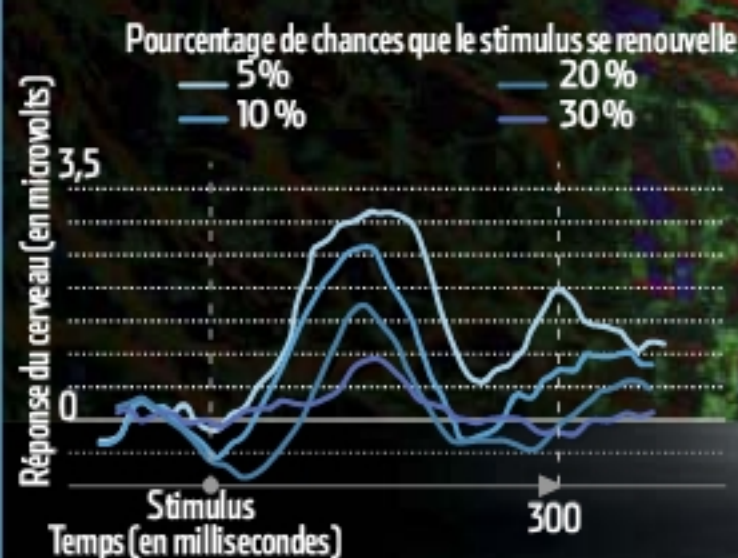
"Les ordinateurs savent battre les humains aux échecs, mais quand il s'agit de bouger les pièces sur l'échiquier, ils ne peuvent rivaliser avec un enfant de 5 ans!" Pierre Bessière, chercheur au Collège de France, rappelle le grand problème des robots: leur difficulté à négocier physiquement avec le monde réel. Grâce à la formule de Bayes, ils sont pourtant en train de vaincre ce blocage, car elle a un avantage de taille: quand les programmes classiques ne peuvent espérer reconnaître un objet que s'ils en reçoivent un signal clair via leurs capteurs – ils ne font que dire si oui, ou non, un signal détecté correspond à un objet répertorié dans leur base de

données –, les automates bayésiens, eux, sont capables d'exploiter la moindre bribe d'information envoyée par leurs "sens", de la comparer à tous les éléments de leur base de données et d'affubler chaque association d'une probabilité pour agir en fonction de la plus probable. De quoi éviter des obstacles imprévus, reconnaître des objets lorsque la lumière est faible, ou même sentir des matières dont les caractéristiques n'avaient pas été intégrées dans leur base de données. En exploitant cette architecture, une équipe californienne vient ainsi de mettre au point un doigt tactile plus sensible que celui de l'homme (S&V n°1140, p. 43).



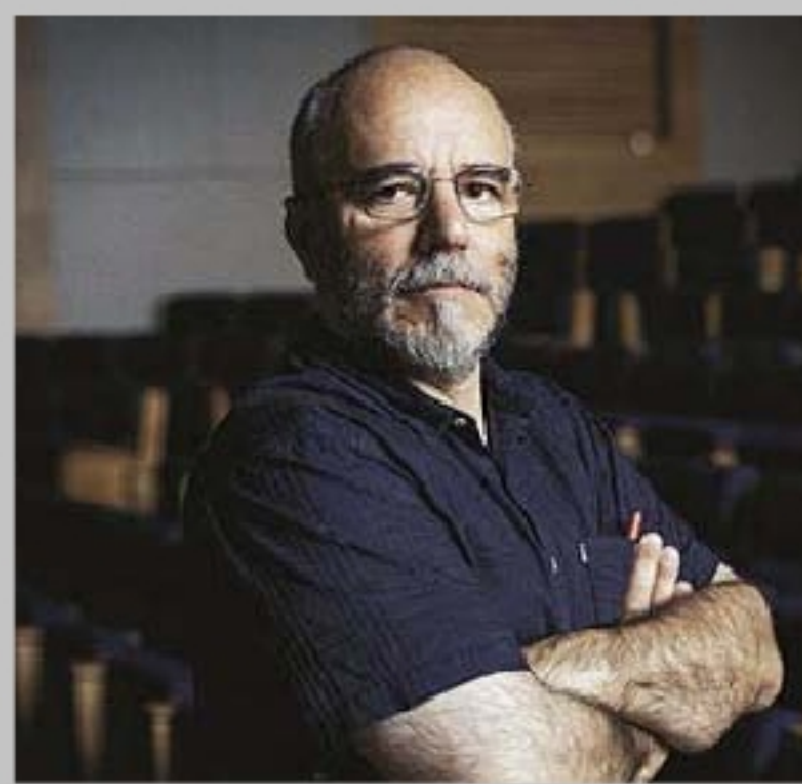
Les neurones forment des réseaux bayésiens

Plus un stimulus survient rarement, plus la réponse électrique du cerveau est importante (courbe la plus claire). Certains neurones sont donc capables de prévoir, en suivant un schéma bayésien, la probabilité qu'un stimulus se présente.



ou violette, précise la chercheuse, seule la statistique bayésienne permet de remonter à la cause du phénomène et de trouver la bonne réponse. "Il n'y a donc aucun doute : les statistiques classiques ont beau nous sembler plus "naturelles", les enfants recourent instinctivement aux probabilités bayésiennes.

Mais ce n'est pas tout. La chercheuse a organisé un second test avec d'autres enfants en leur montrant des singes qui éternuent chaque fois devant une fleur jaune et la moitié du temps devant une fleur violette ou



PIERRE BESSIÈRE

STATISTICIEN AU COLLÈGE DE FRANCE

Si on envisage le cerveau humain comme un réseau bayésien, on comprend alors tous ses mécanismes

rouge. "Si l'on raisonne suivant les lois probabilistes classiques, cette expérience est similaire à la première car les fréquences sont les mêmes : les singes éternuent tout le temps devant une fleur jaune et la moitié du temps devant une fleur rouge ou violette, détaille Alison Gopnik. Par contre, dans ce cas, un raisonnement bayésien ne permet pas de conclure car tous ces événements sont indépendants." Les enfants n'ont donc d'autre choix que d'utiliser la méthode classique. Or... ils s'en sont remis au hasard ! Choisisant indifféremment la fleur jaune, rouge ou violette. "Ils n'ont pu mener de raisonnement pour remonter à une fleur responsable, ce qui prouve qu'ils sont incapables, même lorsque c'est la seule solution, de calculer selon les lois classiques, de type fréquentiste", conclut Alison Gopnik.

Le succès de la formule de Bayes en psychologie est tel que les chercheurs commencent à se demander si le cerveau ne serait pas, organiquement, un réseau bayésien. Si la formule, au lieu d'être un outil rêvé pour étudier le raisonnement humain, ne serait pas en définitive le cœur même de sa mécanique. Bref, si la matière grise n'aurait pas tissé à toutes les échelles une toile de formules de Bayes. L'idée est audacieuse, mais recueille de plus en plus de suffrages. Car la formule de

Bayes étant LA structure optimisée de raisonnement lorsque l'on dispose d'informations incomplètes ou inexacts, il se pourrait que l'évolution, dans son souci d'efficacité, l'ait justement privilégiée. "C'est le principe d'optimalité, ajoute Sophie Denève, neurologue à l'Ecole normale supérieure de Paris. Le système nerveux évolue dans un monde complexe, reçoit des signaux brouillés par énormément de bruit, et doit donc approximer pour gérer les incertitudes du mieux qu'il peut. La sélection naturelle fait émerger les architectures

ELLE DÉCRIT SI BIEN LA PENSÉE QU'ELLE POURRAIT BIEN ÊTRE L'ALGORITHME DE LA PENSÉE

biologiques les plus efficaces possibles." Or, le mécanisme de prédiction probabiliste bayésien a de multiples avantages : il permet de distinguer, parmi une foule d'informations sensorielles, celles qui seront pertinentes ; et ses prédictions peuvent suffire à déclencher une réaction sans même qu'une information sensorielle ait encore été captée... "Appliquant ce système prédictif, le cerveau améliore le traitement des messages provenant des sens en sélectionnant les données, ajoute Stanislas Dehaene. En comparant sans cesse les informations sensorielles avec ses a priori, il ne transmet que les informations non anticipées, des sortes de messages →

→ *d'erreurs et non la totalité du flux.* Les roboticiens l'ont d'ailleurs compris depuis les années 1980: le meilleur moyen de concevoir un robot intelligent, capable d'interagir finement avec son environnement, est de donner aux programmes informatiques qui le commandent une architecture... bayésienne (voir encadré p. 60).

L'ESPOIR D'UN CORPUS UNIQUE

De nombreux chercheurs ont donc commencé la traque: à coups de stimulations sensorielles et d'imageries à résonance magnétique (IRM), ils cherchent dans le maelström du cerveau les traces d'interactions de type bayésien. Et commencent à en voir les signes. Ainsi, en 2011, une équipe de la Carnegie Mellon University (Etats-Unis), a observé que des neurones envoient des décharges avant même la perception, juste parce que le cerveau est en train de prédire qu'il va se passer quelque chose. Ils ont vu, au plus intime du cerveau, des messages nerveux transportant, non pas des informations provenant des sens, mais des calculs de probabilités. Ils ont donc vu... des neurones en train de faire des

LE CORTEX EST UNE PYRAMIDE DE RÉSEAUX BAYÉSIENS AVEC À SON SOMMET... LA PENSÉE

prédictions suivant les lois de la statistique bayésienne. Et ce n'est pas tout! Les équipes d'Alexandre Pouget, neurologue à l'université de Rochester, aux Etats-Unis, de Joshua Tenenbaum, du MIT, et de Karl Friston, de la London's Global University, ont montré que le cortex semblait carrément organisé pour coder des distributions de probabilités: d'après leurs mesures, les assemblées de neurones des couches cérébrales périphériques effectuent des calculs probabilistes à partir des données stockées et des informations provenant de l'extérieur, puis transmettent le résultat aux couches supérieures. Ces chercheurs pensent même avoir identifié l'unité fondamentale de calcul bayésien

du cerveau: il s'agirait de ce qu'ils appellent des "circuits canoniques", des micro-architectures de neurones qui se répètent de façon identique dans tout le cortex (voir *S&V* n° 1102, p. 98). De couche en couche, le cerveau serait une sorte de pyramide de réseaux bayésiens dont le sommet serait... la pensée elle-même! Tout ce que nous touchons, entendons, sentons serait transformé en temps réel par la matière grise en statistiques bayésiennes. Le monde serait une collection de probabilités continuellement mise à jour au fil de nos perceptions, une gigantesque quantité d'informations régies par les lois d'un révérend du XVIII^e siècle!

Cette vision révolutionnaire est même partagée par certains... physiciens! A force de vouloir caractériser la matière dans sa plus stricte intimité, ils ont eux aussi trouvé sur leur chemin la petite égalité du révérend anglais... Et comme les spécialistes du cerveau, ils se demandent si elle ne serait pas carrément la pièce qui leur manquait pour mettre enfin du sens derrière l'étrange comportement de la matière lorsqu'elle est observée dans ses échelles les plus intimes. Ce ne serait pas là le moindre de ses vertiges: la formule de Bayes régissant toute information, toute connaissance serait la clé pour comprendre la

mécanique quantique... et la sortirait même du champ de la physique pour l'intégrer au corpus des sciences de la cognition (voir ci-contre)!

Alors que les chercheurs sont seulement en train de réaliser la révolution en cours, la première ébauche de théorie bayésienne de la cognition donne déjà des perspectives d'applications. "On espère en déduire des pistes pour comprendre certaines maladies mentales", révèle Chloé Farrer. Disposer d'une description globale des mécanismes qui régissent le cerveau pour mieux en comprendre ses dysfonctionnements, voilà l'idée. La chercheuse s'est déjà mise au travail. Elle est en train d'étudier le cas de patients atteints de schizophrénie.

"Les résultats préliminaires montrent que les personnes atteintes de cette maladie accordent beaucoup d'importance aux informations sensorielles, détaillée-elle. Les allers-retours entre le savoir acquis et l'expérience ne sont pas suffisants pour remonter aux causes des événements..." Surtout, l'espoir de voir réunis tous les mécanismes du cerveau, tous les phénomènes comportementaux en un corpus unique donne des ailes aux chercheurs. "On envisage enfin de pouvoir répondre aux questions les plus pressantes en sciences cognitives, s'enflamme Stanislas Dehaene. Et en particulier, de comprendre comment le cerveau procède pour élaborer des règles abstraites de très haut niveau qui lui sont propres, comme le langage par exemple." La petite formule de Bayes a fait du chemin depuis le poussiéreux chapitre de statistique où elle avait été reléguée. En dévoilant la clé de voûte du fonctionnement de notre pensée, voilà qu'elle promet rien moins que de révéler le secret qui fonde l'humanité. Une formule décidément magique...





CHRISTOPHER FUCHS

PHYSICIEN AU PERIMETER INSTITUTE FOR THEORETICAL PHYSICS (CANADA)

Les lois de la mécanique quantique découlent directement des statistiques bayésiennes

LA PHYSIQUE QUANTIQUE REMISE SUR LES BONS RAILS

“La formule de Bayes est la loi qui régit toute connaissance, toute information !” Ce n’est pas un neurologue qui scande cette affirmation mais un chercheur du Perimeter Institute for Theoretical Physics, au Canada : Christopher Fuchs, spécialiste de... mécanique quantique ! La coïncidence est saisissante. Comme leurs confrères des sciences de la cognition, certains physiciens crient à la révolution. Ils pensent avoir trouvé le moyen de remédier à tous les maux de leur discipline en identifiant le même remède : la statistique bayésienne.

Voilà près d’un siècle, à force de s’approcher au plus près de l’essence de la matière, les physiciens ont abouti aux lois de la physique quantique. Et devant leur efficacité, ils ont dû admettre l’inadmissible : la lumière peut prendre à la fois les atours d’une onde et d’une particule ; un électron peut être simultanément à deux endroits ; l’état d’une particule ne peut être décrit que sous la forme de probabilités... Bref, en voulant caractériser exactement le comportement des électrons, des photons et autres particules, la physique a accouché d’un brouillard probabiliste. Et si la majorité des physiciens a pris le parti d’ignorer cette “maladie” fondamentale, certains proposent une solution radicale : considérer que la mécanique quantique ne parle pas de la matière elle-même, mais seulement... de ce que l’on en sait. Selon Christopher Fuchs, mais aussi John Baez de l’université de Californie, ou Carlton Caves de

l’université du Nouveau-Mexique, la physique se serait égarée. Elle aurait commencé, sans que personne s’en aperçoive, à décrire rien d’autre que les états d’information – et donc d’ignorance – de l’observateur. Le comportement des particules n’aurait rien d’extravagant, il serait simplement le reflet de notre incapacité à accéder à la totalité des informations (nous disons qu’une particule est ici à 36 % et là-bas à 64 %, simplement parce que nous manquons d’informations sur sa position réelle). Soit du pur bayésianisme !

Et justement, pointant, équation après équation, les ressemblances troublantes entre la mécanique quantique et la statistique bayésienne, Christopher Fuchs est parvenu, pour partie, à démontrer un lien entre les deux théories ! Ainsi, les lois fondamentales de la matière découleraient naturellement de la statistique bayésienne. La petite formule du XVIII^e siècle, *via* la mécanique quantique, régirait non pas la matière, mais les informations : des sortes de médiateurs entre le matériel et l’abstrait, entre l’objet et l’idée. Tout ce que nous croyons réel ne serait qu’un magma de 0 et de 1 commandés par la statistique de Bayes ! L’idée, qui prend à revers les principes de réalisme et d’objectivité de la physique traditionnelle, donne le vertige. Elle révèle que notre compréhension de la matière qui nous entoure se fonde, *in fine*, sur du virtuel et du subjectif. La formule magique de Bayes a encore frappé.

NOUVEAU

VOTRE COLLECTION DÉSORMAIS DISPONIBLE EN KIOSQUE TOUS LES 15 JOURS

SCIENCE-VIE
GUERRES
& Histoire

LES CHEFS-D'ŒUVRE

PLUS SIMPLE PLUS PRATIQUE

DU FILM DE GUERRE

Tous les 15 jours,
retrouvez **chez**
votre marchand
de journaux
un **nouveau volume**
de votre collection.

Si vous avez raté les numéros précédents :

N°1 Mer Cruelle - **N°2** Le Pont - **N°3** Capitaine Conan
N°4 Cote 465 - **N°5** Ballade du soldat
commandez-les au **02 77 63 11 59** ou sur
www.collection-guerresethistoire.com

VOS PROCHAINES PARUTIONS À NE PAS RATER :

N°6 L'ODYSSÉE DU SOUS-MARIN NERKA

« Un duel sans merci
sous le Pacifique »

« Rich » (Clarke Gable) est un officier sous-marinier qui n'a qu'un seul but : trouver et détruire le destroyer japonais qui a envoyé par le fond son précédent bâtiment. À la tête d'un nouveau vaisseau, il entraîne ses hommes sur le chemin de la mutinerie en les préparant durement en vue de la bataille à venir.



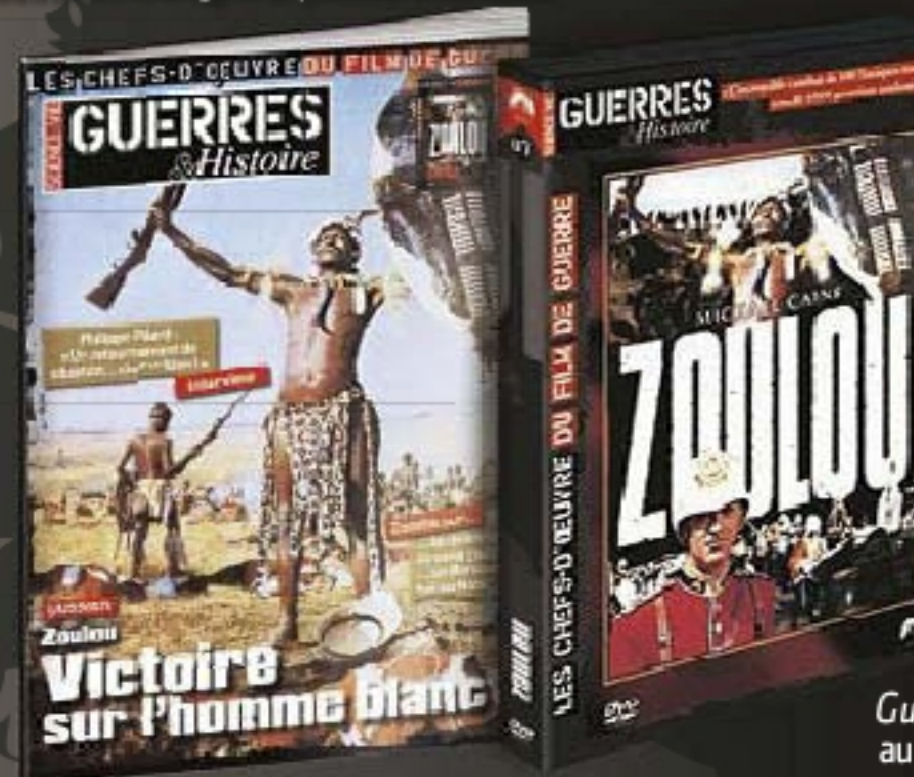
à côté de
Guerres & Histoire ou
au rayon multimédia.

Du **12 octobre** au **9 novembre**.

N°7 ZOULOU

« L'incroyable combat de 100 Tuniques rouges
contre 4 000 guerriers zoulous »

Zoulou est un film d'aventure épique sur le courage et la bravoure. Basé sur une histoire vraie, le film raconte l'incroyable combat qui opposa, en 1879, 100 soldats britanniques à 4000 guerriers zoulous. Les anglais défendirent jusqu'au bout la mission de Rock's Drift où s'étaient réfugiés un pasteur et sa fille...



à côté de
Guerres & Histoire ou
au rayon multimédia.

Du **26 octobre** au **23 novembre**.

N°8 L'ENFER EST POUR LES HÉROS



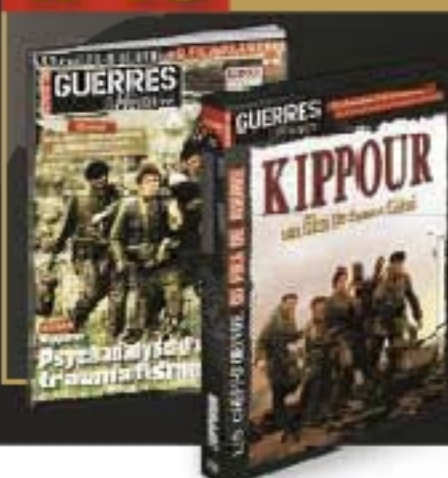
Du **9 novembre**
au **7 décembre**.

N°9 À L'OUEST RIEN DE NOUVEAU



Du **23 novembre**
au **21 décembre**.

N°10 KIPPOUR



Du **7 décembre**
au **4 janvier**.

L'ODYSSÉE DU SOUS-MARIN NERKA: Run silent, un clip © 1958 Metro-Goldwyn-Mayer Studios Inc. Tous droits réservés.

ZOULOU: © 1964 Diamond Films LTD

KIPPOUR: © 2001 - UP Productions - Agence de
Distribution - Agence France Cinéma - © 2001 France Télévision
DISTRIBUTION: Mafred & Associés

VOTRE COLLECTION

ÉGALEMENT DISPONIBLE PAR CORRESPONDANCE !

3 OPTIONS DE SOUSCRIPTION

L'abonnement sans engagement

ou

La collection complète

ou

Les volumes à l'unité



→ Pour commander www.collection-guerresethistoire.com
et au **02 77 63 11 59**

Rendez-vous sur **facebook** pour retrouver les interviews de Jean Lopez

Votre collection complète



Visuels non contractuels

Liste susceptible d'être modifiée

STUDIOCANAL MER CRUELLE © 1953 CANAL + IMAGE UK Ltd. / © 2012 Studio Canal. Tous droits réservés. / Le pont © 1959 Fono Film / © 2012 Beta Film. Tous droits réservés. / Capitaine Conan © 1996 STUDIOCANAL - Studio 37 - TF1 Films Production. Tous droits réservés. / BETA LE PONT © 1959 Fono Film / © 2012 Beta Film. Tous droits réservés.

Mer cruelle : © 1953 CANAL + IMAGE UK Ltd. - © 2012 Studio Canal. Tous droits réservés. / Le pont : © 1959 Fono Film - © 2012 Beta Film. Tous droits réservés. / Capitaine Conan : © 1996 STUDIOCANAL - Studio 37 - TF1 Films Production. Tous droits réservés. / Kippour : © 2000 - MP Productions - Agav Hataot - Studio Canal - Arte France Cinema. Tous droits réservés. / Quand passent les cigognes : © Les studios Mosfilm de Moscou, 1958. © RUSCICO, 2003. / La 317e section : © 1965 - STUDIOCANAL / BENITO PERLO (Madrid). Tous droits réservés. / Coulez le Bismarck : © 2003 Twentieth Century Fox Home Entertainment, Inc. Tous droits réservés. / Torpilles sous l'Atlantique : © 2003 Twentieth Century Fox Home Entertainment, Inc. Tous droits réservés. / L'odyssée du sous-marin Nerka : run silent, run deep © 1958 Metro-Goldwyn-Mayer Studios Inc. Tous droits réservés. / Ils ont combattu pour la patrie : © Les studios Mosfilm, 1975. © RUSCICO, 2005. Tous droits réservés.

Trois souris monstrueusement difformes : les photos ont fait la une des journaux et des JT, faisant passer massivement le message que les OGM sont toxiques. Pourtant, l'étude par qui le scoop est arrivé est pour le moins critiquable. Retour sur un cas exemplaire d'emballlement politico-médiatique et de désinformation, qui fait surtout du tort à la science.



OGM L'INTOXICAT MÉDIATIQUE

PAR ELSA ABDOUN,
BORIS BELLANGER
ET CAROLINE TOURBE



ION

AFP

Dégoût, pitié, effroi. La diffusion en boucle des images de ces rats déformés par des tumeurs “telles des ballons sous leur peau tendue” n’est pas de celle que l’on raye facilement de sa mémoire. Pas plus que le message percutant qui les accompagne: “Oui, les OGM sont des poisons.” Avec son titre fracassant, le *Nouvel Observateur* s’est fait le porte-parole des propos de Gilles-Eric Séralini.

Sans aucun recul ou once d’esprit critique. Farouchement convaincu de la dangerosité des OGM pour la santé, le chercheur de l’université de Caen n’en est pas à son coup d’essai. Chaque fois, l’expertise scientifique a pourtant récusé ses conclusions (voir encadré p. 71). Alors, cette fois, avec son étude sur le NK 603, mais breveté par Monsanto pour sa résistance à l’herbicide Roundup, il choisit de convaincre le →

UN PLAN COM' INÉDIT

DIAM'S : DU RAP À ALLAH



MERCREDI 19 SEPTEMBRE

C'est en une du *Nouvel Observateur* qu'éclate le scoop : "les" OGM sont assimilés à un poison sur la seule foi de l'étude de Gilles-Eric Séralini. Sans aucun recul ni avis divergent.



TOUTE LA MATINÉE

Sur les ondes et les écrans, les propos et les conclusions du chercheur sont repris à la lettre. En fin de matinée, Stéphane Le Foll, ministre de l'Agriculture, fait une déclaration qui évoque "les risques encourus avec ce type d'OGM".



→ grand public d'abord... et de répondre aux questions des autres scientifiques plus tard. L'accord d'exclusivité négocié avec l'hebdomadaire va ainsi déclencher une tempête médiatique sans précédent. Victime collatérale: le débat scientifique.

Mercredi 19 septembre dans la matinée, le brûlot du *Nouvel Observateur* est mis en ligne. Alors même que les détails de l'étude

restent confidentiels, les télé et les radios relayent à leur tour les conclusions du chercheur. Dans la foulée, Stéphane Le Foll, ministre de l'Agriculture, se laisse prendre au piège de la réaction à chaud. A chacun son principe de précaution, lui n'en aura pas. Faisant fi de la raison scientifique qui veut qu'un tel résultat soit l'objet d'un débat, il déclare, confortant le point de vue de

Gilles-Eric Séralini : "Nous allons agir à l'échelle de l'Europe pour que les conditions et le protocole d'autorisation soient modifiés dans un sens beaucoup plus strict qui prenne en compte les risques encourus avec ce type d'OGM." Des propos repris en boucle dans les journaux de 13 h.

Début d'après-midi. Sur les sites d'information, les premières réactions opposées à Gilles-Eric Séralini se font entendre. Mais elles sont le fait d'experts bien connus pour recevoir d'importants subsides des industries agroalimentaires. Lobbies pro-OGM dressés vent debout contre lobbies anti-OGM. Parole contre parole. Mais la science dans tout ça ? Justement, en milieu d'après-midi, l'étude peut enfin être consultée sur le site de la très réputée revue scientifique

LE MAÏS DE LA DISCORDE

NK 603. De son vrai nom : MON-00603-6. Placé sous le feu des médias, ce maïs génétiquement modifié n'est pas un nouveau venu. Commercialisé par la firme Monsanto depuis 2001, il est tolérant aux herbicides à base de glyphosate, comme le Roundup. Interdit à la culture en Europe, ce maïs transgénique y est cependant autorisé à l'importation depuis 2004 pour l'alimentation animale et humaine. La France, elle, a interdit son importation.



Stéphane LE FOLL
ANSES

indues publiques aujourd'hui,
cause d'innocuité à long terme

édiate de l'Agence Nationale
analyse par le Haut Conseil
as en urgence à l'Autorité
de l'avis de l'ANSES, le
prendre toutes les mesures
ne et animale, mesures qui
risation d'importation dans
examen de ce produit sur la

écologiques exigées par la
de mise sur le marché de
prise par le Gouvernement

urs

rant

erge*

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

es et (115 115 115 115)

DANS L'APRÈS-MIDI

La tempête médiatique gonfle encore quand les ministres de la Santé, de l'Agriculture et de l'Ecologie saisissent les agences à propos de l'étude, qui est enfin accessible à 15 h sur le site de la revue *Food and chemical toxicology*. Les premières critiques commencent à se faire entendre.



OGM: gros dégâts chez les rats

Une étude inédite parue dans la revue *Food and chemical toxicology*...

Une étude inédite parue dans la revue *Food and chemical toxicology*...

Une étude inédite parue dans la revue *Food and chemical toxicology*...

ET LE LENDEMAIN ENCORE

Les rats font la une des quotidiens... Le chercheur, lui, participe à Bruxelles avec Corinne Lepage à l'audition de la directrice de l'Autorité de sécurité des aliments.



GILLES-ÉRIC SÉRALINI, CHERCHEUR ANTI-OGM

Agitateur, Gilles-Eric Séralini? Sans doute. Franc-tireur? Assurément. Mais surtout, récidiviste... C'est la troisième fois en moins de cinq ans que ce professeur de biologie moléculaire à l'université de Caen, cofondateur du Comité de recherche et d'information indépendantes sur le génie génétique (Criigen), s'illustre sur la question des OGM. Et la troisième fois qu'il conclut à contre-courant de toutes les études. En mars 2007, il s'attaquait au maïs MON 863, après être parvenu à se faire remettre les données expérimentales confidentielles de l'étude toxicologique menée pour le compte de Monsanto. En décembre 2009, c'était au tour du maïs MON 810 et, déjà, du NK 603, pour lesquels il se procura encore les études commanditées par Monsanto. Résultat? Selon les travaux de Gilles-Eric Séralini, qui ne sont que des ré-analyses statistiques de données existantes, une alimentation à base de maïs OGM serait en fait toxique pour le rein et le foie. Chaque fois, ses conclusions ont été récusées par des comités d'experts nommés dans les différentes agences sanitaires, en Europe et ailleurs dans le monde.



Food and chemical toxicology... et les premiers commentaires argumentés sont sévères. Rien d'étonnant à cela d'ailleurs, toute étude une fois publiée doit faire l'objet d'une lecture critique par la communauté scientifique. C'est là le cheminement normal de la science! Mais le règne médiatique de Gilles-Eric Séralini va encore durer une journée.

ET LE DÉBAT PUBLIC?

Le jeudi, il se rend au Parlement européen accompagné de Corinne Lepage, députée européenne et présidente du Comité de recherche et d'information indépendantes sur le génie génétique (Criigen), qui finance une partie de son étude. Le gouvernement français a saisi les autorités européennes et, dans la foulée, la directrice de l'Autorité européenne de

sécurité des aliments (Efsa) est auditionnée par quelques députés. S'en suit une passe d'armes, là encore très médiatisée, sur le bien-fondé d'une contre-expertise menée par des experts ayant autorisé la commercialisation dudit maïs. Débat des plus importants sûrement... mais qui n'apporte aucun élément sur la validité ou non de l'étude de Gilles-Eric Séralini. Maintenant, à charge pour les agences de sécurité sanitaire, en Europe et ailleurs, de répondre à cette simple question: cette étude apporte-t-elle des éléments scientifiques susceptibles de remettre en question l'innocuité des OGM? Parions qu'au final, il n'en sera rien. Quoi qu'il en soit, les rats sont morts, et avec eux une certaine idée du débat public appuyé sur les deux piliers de la raison et la science.



UNE ÉTUDE ATYPIQUE...

La publication de Gilles-Eric Séralini se démarque des autres études à trois titres.

► *Un financement original*

Elle n'est pas financée par l'industrie agrochimique. Les 3 millions d'euros nécessaires à son déroulement – une somme importante, mais il s'agit d'une étude de grande ampleur – ont été fournis par le Criigen (association connue pour dénoncer les risques des OGM), la fondation privée Charles-Léopold Mayer et des enseignes de la grande distribution. Une originalité, car la majorité des études évaluant les risques sanitaires liés à la consommation d'OGM est financée, pour totalité ou partie, par les industriels qui les commercialisent, à commencer par Monsanto, leader du marché. De fait, avant commercialisation, les producteurs d'OGM sont les seuls à devoir fournir aux autorités sanitaires, en Europe et en France, des

tests toxicologiques (sur des animaux et des cultures cellulaires) prouvant l'innocuité de leurs produits selon les normes en vigueur. Conscients des polémiques suscitées par leurs produits, ces industriels financent aussi des études plus poussées : toutes rassurantes. Or, la source de financement de travaux scientifiques n'est pas sans influence sur les conclusions d'une étude, comme l'ont montré diverses enquêtes chiffrées. L'observation est valable pour cette étude : son financement original ne peut pour autant garantir son impartialité. Mais alors pourquoi ne pas réaliser de recherches exclusivement publiques sur le sujet ? Parce que l'Etat ne classe pas les OGM dans la catégorie des produits à risque pour la santé et ne finance donc pas en priorité des études sur leur toxicité.

► *Une durée très longue*

L'étude a été menée durant deux ans, contre trois mois en général,

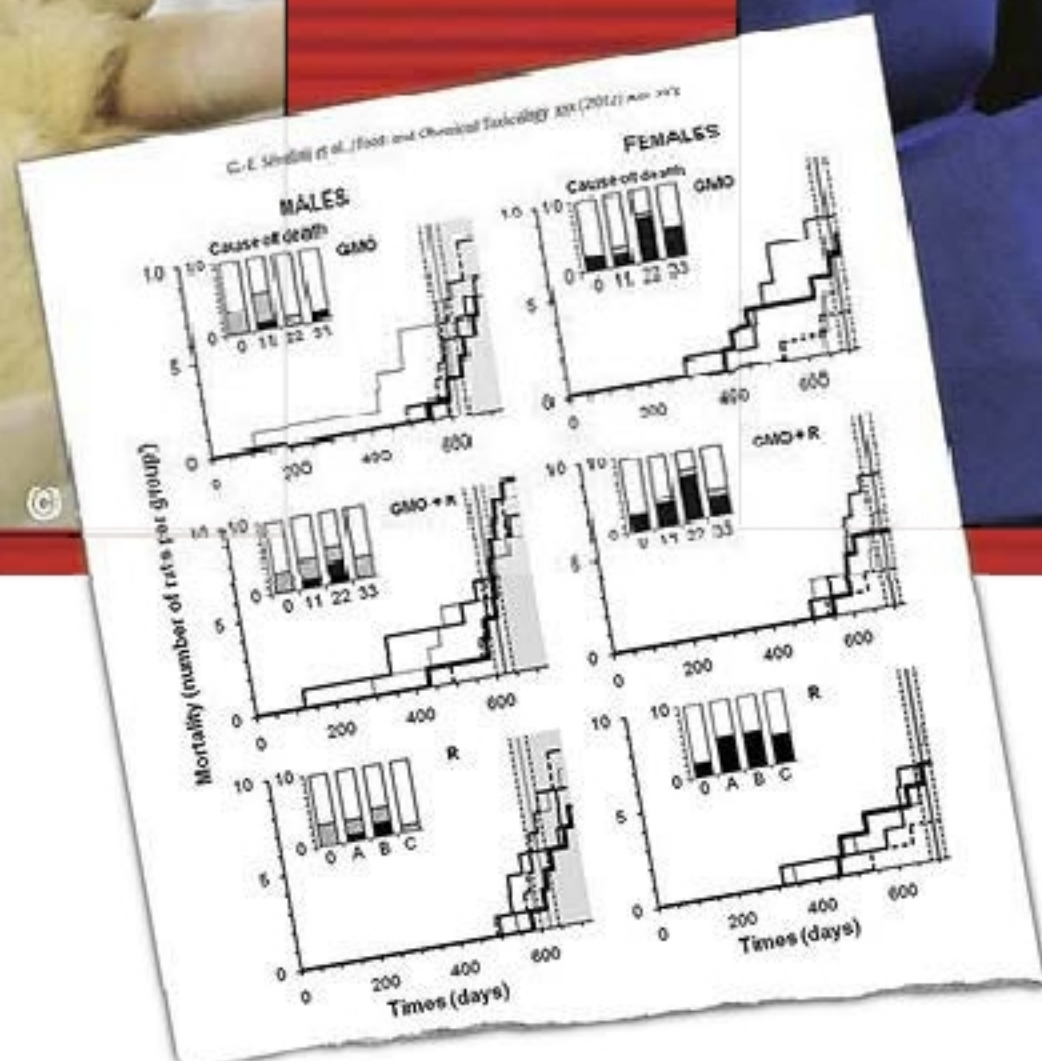
et sur 200 rats (du même type que ceux utilisés par Monsanto), contre quelques dizaines dans la plupart des études sur les OGM. L'Autorité européenne de sécurité des aliments fixe au cas par cas la durée de celles-ci, et n'a jamais exigé qu'elles durent plus de 90 jours. La grande majorité (70 % selon une étude) des effets potentiels serait alors déjà observable. Et rares sont les études qui ont duré plus longtemps afin de vérifier que des effets sanitaires invisibles avant trois mois n'apparaissent plus tard. Celle de Gilles-Eric Séralini en fait partie.

► *Une conclusion inattendue*

C'est la première fois qu'une telle étude, sur des centaines, affirme déceler les effets néfastes d'un OGM sur la santé des animaux ! Leur pouvoir toxique et cancérigène n'ayant jamais été démontré, cette étude va donc totalement à contre-courant de toutes les données disponibles.



Menée entre 2008 et 2011 par Gilles-Eric Séralini, l'étude a porté sur 200 rats répartis en groupes de 10. Deux groupes ont été nourris avec un maïs non-OGM, les autres ont reçu différentes doses d'OGM et/ou de Roundup.



...AUX RÉSULTATS PEU CONVAINCANTS

Deux à trois fois plus de morts chez les femelles" ayant consommé du maïs NK 603 toute leur vie, et "souvent deux à trois fois plus de tumeurs tant chez les mâles que les femelles"... Gilles-Eric Séralini et ses collaborateurs en sont persuadés : ils ont démontré la nocivité du maïs NK 603 pour la santé. Voire...

➤ Où sont les analyses statistiques ?

Certes, les rats étaient deux cents. Mais pour les besoins de l'étude, les cent femelles et les cent mâles ont été séparés puis répartis en dix petits groupes de dix individus. Chacun de ces dix groupes a ensuite reçu un régime alimentaire différent des autres. Neuf régimes étaient composés de maïs OGM à différentes doses et/ou avec une adjonction de Roundup (herbicide) dans l'eau de boisson.

▲ Des décès ont été recensés dans tous les groupes (ci-dessus la publication). Pour autant, statistiquement, leur répartition en fonction du régime alimentaire ne permet pas d'incriminer les OGM.

Enfin, le dernier régime qui ne contenait ni OGM ni Roundup a été administré à un groupe témoin, auquel ont été comparés les neuf autres. Si parmi les dix rongeurs d'un groupe nourri aux OGM, cinq, quatre ou six venaient à développer des tumeurs quand ils n'étaient que deux parmi les dix rongeurs du groupe témoin, que fallait-il en conclure ? Que l'alimentation transgénique double, voire triple, le risque de développer des tumeurs chez les femelles ? Pas pour les chercheurs à qui nous avons demandé d'étudier la publication de Gilles-Eric Séralini. Tous ont convenu que les conclusions avancées par les auteurs étaient dépourvues de la moindre valeur statistique. Pour les déterminer précisément, il aurait fallu conduire, logiciels d'analyse à l'appui,

des tests statistiques. Ces derniers visent à s'assurer que les résultats obtenus ne doivent rien, ou presque rien, au hasard (en matière de toxicologie, il est d'usage de considérer les résultats comme significatifs si la probabilité qu'ils adviennent par hasard est inférieure à 0,05, voire 0,01). Or, ce travail d'analyse n'a pas été effectué. "Les résultats parlent d'eux-mêmes", estime Gilles-Eric Séralini.

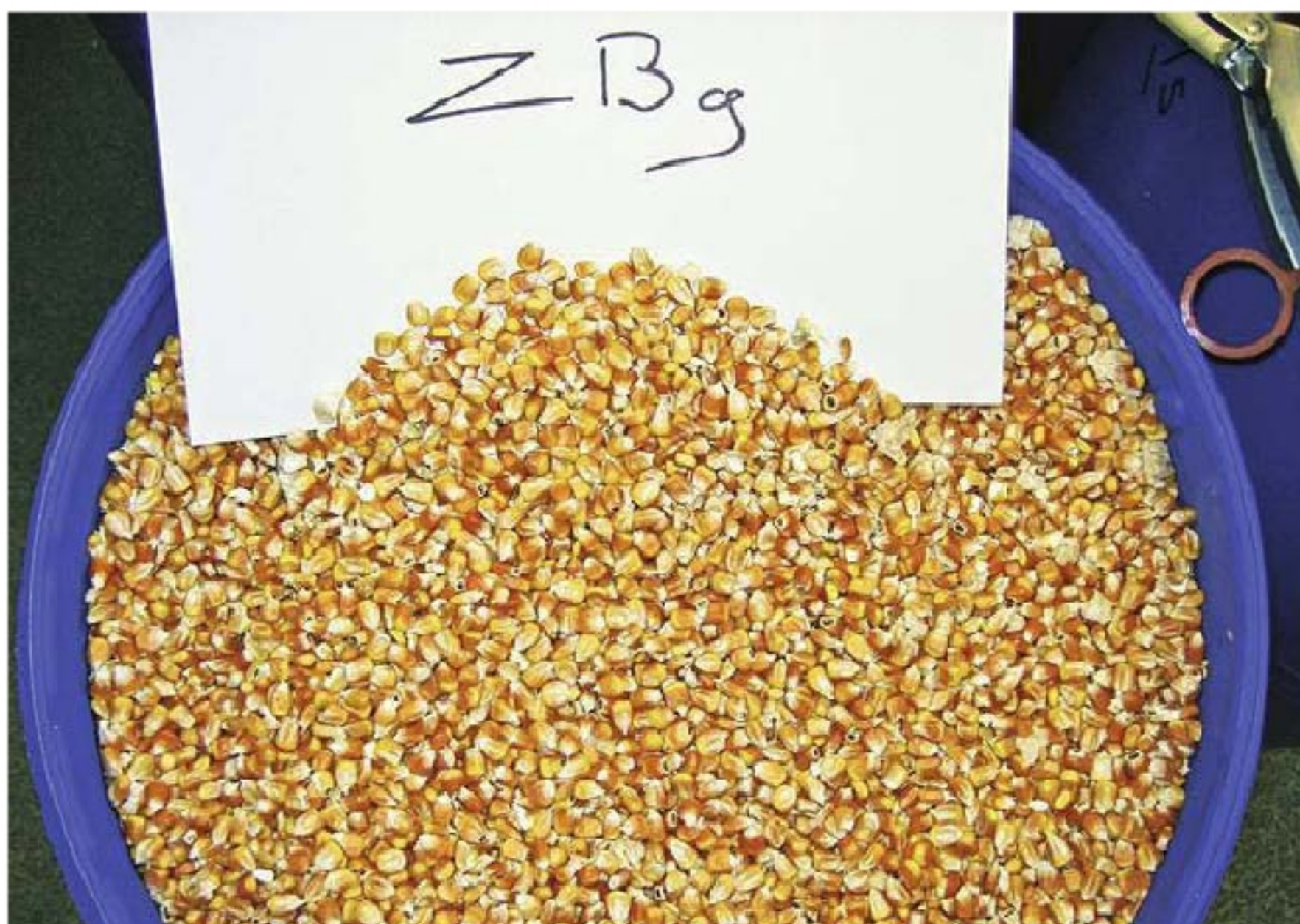
➤ Où sont les "effets doses" ?

En règle générale, absorber un peu de produit toxique est moins nocif que d'en absorber beaucoup. Ce qui semble plutôt normal, et porte un nom : l'effet dose. De l'aveu même des auteurs, rien de tel n'a été observé dans cette étude. Une fois sur deux, les rats ayant absorbé un maximum d'OGM se portent même mieux que ceux qui →

→ en ont absorbé des quantités moindres. Alors? Alors, les auteurs rappellent qu'il existe des cas où les effets délétères ne sont pas proportionnels aux doses absorbées. Notamment dans celui très particulier des perturbateurs endocriniens. Solution proposée par les chercheurs: le maïs OGM agit comme un perturbateur endocrinien. Sauf que, pour appuyer une hypothèse aussi inattendue, les auteurs passent par une explication peu étayée... Après avoir observé qu'une dizaine de molécules sur 48 voyaient leur concentration modifiée chez les rats ayant consommé l'OGM (voir paragraphe suivant), ils ont recherché celles qui pouvaient avoir un lien avec des hormones. Or, il se trouve qu'une étude de 2006 indique, selon eux, que l'une de ces molécules pourrait perturber une voie hormonale. Gilles-Eric Séralini voit donc là suffisamment d'arguments pour publier son hypothèse. Rappelons cependant que cette dernière, en plus d'être peu argumentée, est invoquée pour expliquer une relation non linéaire entre la consommation d'un OGM et ses effets sur le développement de tumeurs... dans une étude dont la valeur statistique est remise en question très sévèrement!

➤ Où est la méthodologie scientifique?

Que fait-on quand on cherche une chose que l'on imagine cachée? On s'arme de méthode, de l'outil le plus à même de la débusquer, et on croise les doigts. Que fait-on quand on cherche quelque chose sans trop savoir quoi? On empoigne le plus large des râpeaux, on le traîne sur la plus grande longueur possible, et on espère que la pêche sera fructueuse...



Ce sont ainsi pas moins de 48 molécules différentes qui ont été pistées dans le sang et les urines des rats. Soit autant de candidates potentielles à la révélation de la toxicité des OGM. De fait, la concentration d'une dizaine d'entre elles a varié. Et c'est à partir de ces variations que les chercheurs ont proposé une explication de la toxicité du maïs NK 603... Une méthode qui va complètement

▲ Le maïs transgénique a été administré aux rats à des doses de 11, 22 et 33 % selon les groupes.

à l'inverse de la méthodologie scientifique, qui veut qu'une hypothèse soit formulée avant d'être confrontée aux données expérimentales...

Alors, que faut-il en conclure? Ceci: si le principe de précaution est certainement une bonne chose, les scientifiques seraient bien inspirés de l'appliquer à leurs propres travaux avant de publier leurs conclusions tonitruantes. ■

ET MAINTENANT?

L'étude choc publiée par Gilles-Eric Séralini conduira-t-elle à revoir la manière dont les OGM sont évalués en Europe? Si la réponse dépend en grande partie des conclusions des contre-expertises en cours, l'hypothèse n'est pas à exclure. Car au-delà des avis scientifiques, le dernier mot revient au législateur: la Commission européenne. Celle-ci est justement en pleine phase de révision de la réglementation concernant l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux des OGM, qui date de 2003. Si la Commission suit les conseils publiés en mai 2011

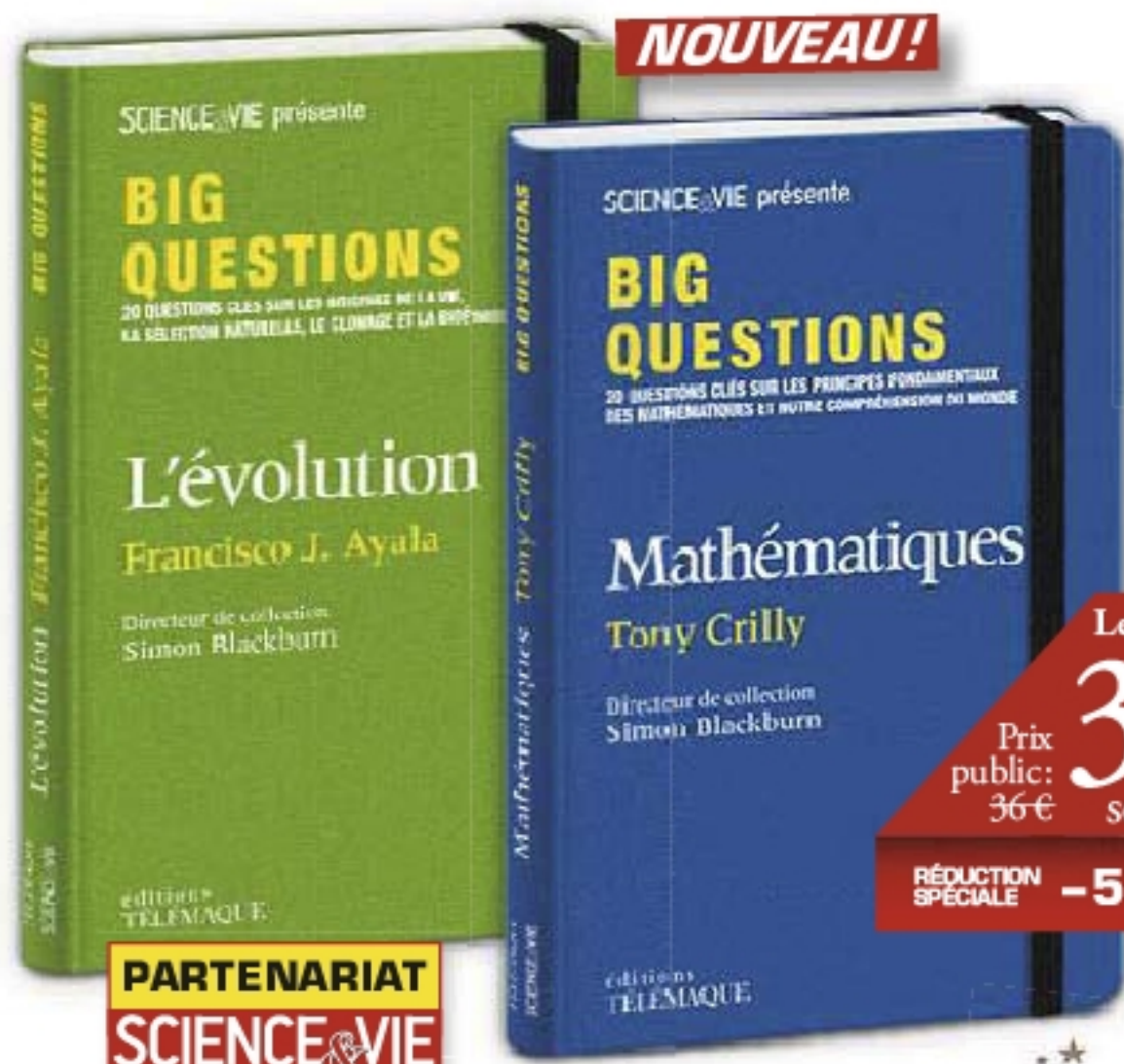
par l'Efsa en matière d'évaluation de la toxicité, elle devrait favoriser une approche au cas par cas, et non un recours systématique aux tests standard pratiqués sur des rats pendant 90 jours. Le retentissement des travaux de Gilles-Eric Séralini pourrait cependant peser sur les négociations entre les Etats membres, qui s'opposent sur ce point. Et faire pencher la balance vers une obligation de réaliser ces tests toxicologiques de 90 jours pour toute nouvelle autorisation de mise sur le marché.

Chaque mois, La Boutique *Science&Vie* sélectionne pour vous des livres, idées cadeaux et des objets scientifiques ou insolites.

La boutique
SCIENCE & VIE

www.laBoutiqueScienceetVie.com

www.laBoutiqueScienceetVie.com



NOUVEAU!

NOUVEAU!

SCIENCE & VIE

Quand? Pourquoi? Comment? Est-il vrai?

CERVEAU CORPS MÉMOIRE SANTÉ

200 questions de la vie
réponses de la science

Les deux livres
34,20€
Prix public: 36€
seulement

RÉDUCTION SPÉCIALE **-5%**

**PARTENARIAT
SCIENCE & VIE**

**LE MEILLEUR DE
SCIENCE & VIE**

**Quelle est la taille de l'infini?
Puis-je me cloner?**

Les mathématiques peuvent-elles nous rendre riches?
Un papillon peut-il réellement déclencher une tornade?
L'intelligence est-elle héréditaire? Retrouvez dans
ces 2 livres les réponses aux grandes questions
des mathématiques et de la biologie.

Big Questions 2012 L'évolution - 18€
Big Questions 2012 Mathématiques - 18€
RELIÉS, AVEC ÉLASTIQUE FAÇON CARNET « MOLESKINE » -
FORMAT 14,5 x 21,5 CM - 215 PAGES CHACUN -
ÉD. TÉLÉMAQUE/SCIENCE&VIE

**Cerveau,
corps,
mémoire,
santé...**

Est-il vrai que
l'on peut lutter
contre la
douleur en se
concentrant?

Pourquoi avons-nous un cerveau reptilien? Quand est-on sûr de
décider par soi-même?... Retrouvez, dans ce bel ouvrage illustré,
200 questions et les réponses de la rédaction de *Science&Vie*.

Quand? Comment? Pourquoi? Est-il vrai?
DIM. 21 x 21 CM - 364 PAGES - COÉDITION SCIENCE&VIE ET SOLAR

POUR COMMANDER ET S'INFORMER

www.laboutiquescienceetvie.com

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à
La Boutique SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 002 ÉVREUX CEDEX

01 46 48 48 83 (Paiement par CB uniquement)

BON DE COMMANDE

À RENVoyer DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À :
LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 002 ÉVREUX CEDEX

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Offre spéciale BIG QUESTIONS L'évolution + Mathématiques	364.695	x	34,20€	= €
BIG QUESTIONS L'évolution	364.687	x	18,00€	= €
BIG QUESTIONS Mathématiques	364.679	x	18,00€	= €
Quand? Pourquoi? Comment? Est-il vrai?	364.612	x	19,90€	= €
SOUS-TOTAL				€
FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)				
<input type="checkbox"/> Envoi normal			5,90€	
<input type="checkbox"/> Envoi Colissimo suivi (72 h)			8,90€	
<input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 39€			GRATUIT	
Frais d'envoi offerts dès 39 € de commande!				
TOTAL				€

> Mes coordonnées

☐ M. ☐ M^{me} ☐ M^{lle}
Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

Complément d'adresse
(résidence, lieu-dit, bâtiment) _____

CP _____ Ville _____

Tél. _____

Grâce à votre N° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre commande.

E-mail _____

☐ Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de *Science & Vie* (groupe Mondadori)

> Mode de paiement

☐ Je joins mon chèque bancaire ou postal à l'ordre de *SCIENCE & VIE*

☐ Par carte bancaire : N° _____

Expire fin : ____/____/____

Cryptogramme _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/12/2012. Délai de livraison des produits : maximum 3 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (4 jours max.). Selon l'article L121-20 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 7 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo déseillés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

256800



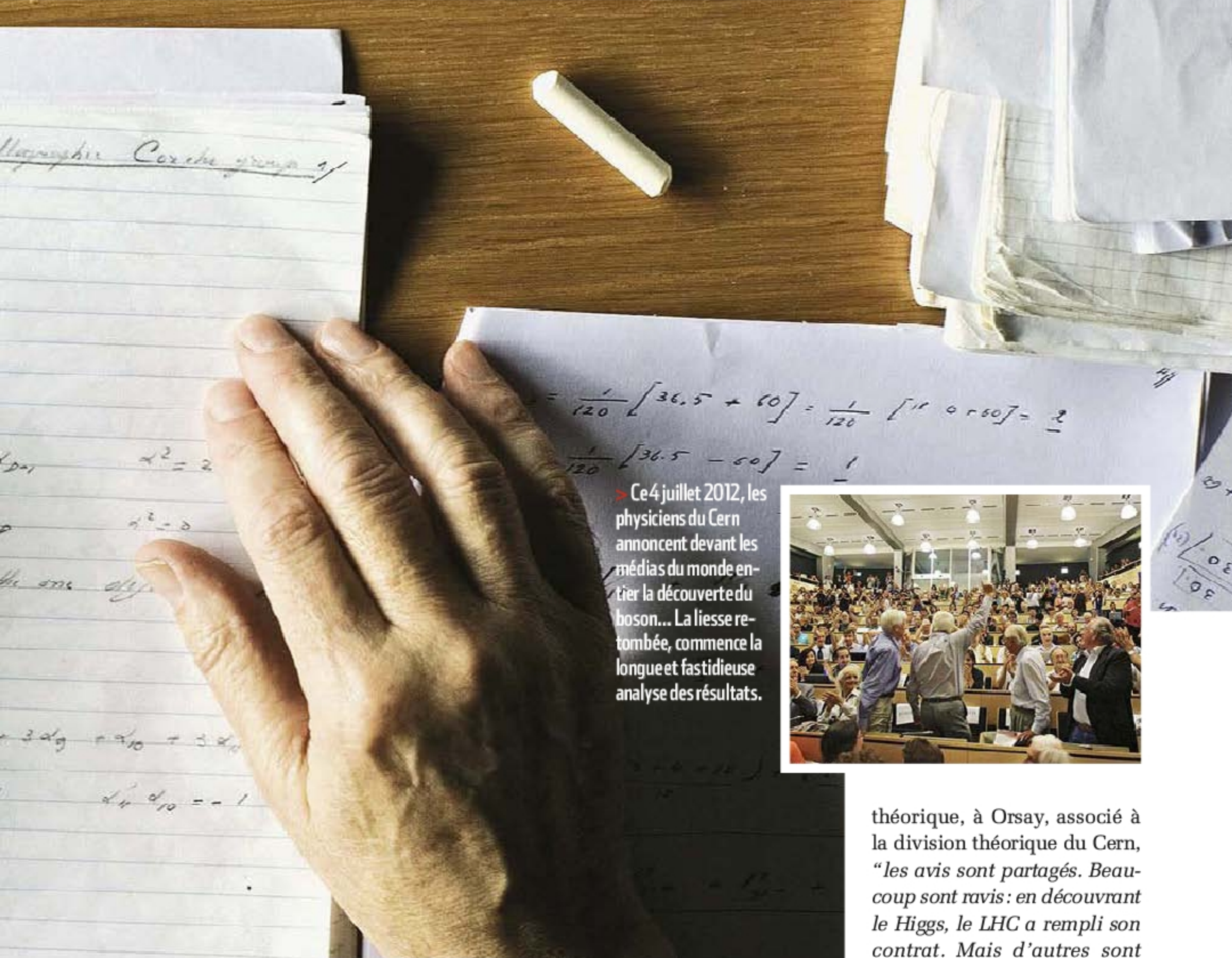
TROIS MOIS APRÈS LA DÉCOUVERTE DU BOSON DE HIGGS COUP DE BLUES CHEZ LES

Après avoir détecté la “particule-dieu” de la matière, on pensait retrouver les physiciens gonflés à bloc. Eh bien, non ! Trop conforme aux prévisions, le Higgs les déprime plutôt... Plongée dans une drôle de rançon du succès.

PAR MATHIEU GROUSSON

C'était le 4 juillet dernier. Un mercredi, jour de Mercure, le messager des dieux. Et message il y eut en effet ce jour-là ! Mais pas n'importe lequel : depuis le Cern, près de Genève, où se cache sous terre le plus grand collisionneur de particules jamais créé par l'homme, les physiciens annoncèrent au monde avoir découvert l'ultime particule qui manquait à leur bestiaire microscopique, celle qui apporte la dernière preuve de la justesse des prédictions

du modèle standard, l'actuelle théorie des particules élémentaires : le boson de Higgs (voir *S&V* n° 1139, p. 22). Historique, la découverte fut unanimement saluée par la communauté des physiciens et par les journaux du monde entier comme “la plus importante depuis plusieurs décennies”. En effet, avec le Higgs, c'est la vision de l'infiniment petit telle que les physiciens commencèrent à l'imaginer au début du XX^e siècle qui, en ce 4 juillet 2012, trouvait officiellement un aboutissement !



> Ce 4 juillet 2012, les physiciens du Cern annoncent devant les médias du monde entier la découverte du boson... La liesse retombée, commence la longue et fastidieuse analyse des résultats.



PHYSICIENS

Apportant une réponse à des spéculations dont l'origine remonte à la Grèce antique quant à la nature de la matière élémentaire. On comprend la liesse des scientifiques. La liesse ? Certes, mais pas seulement...

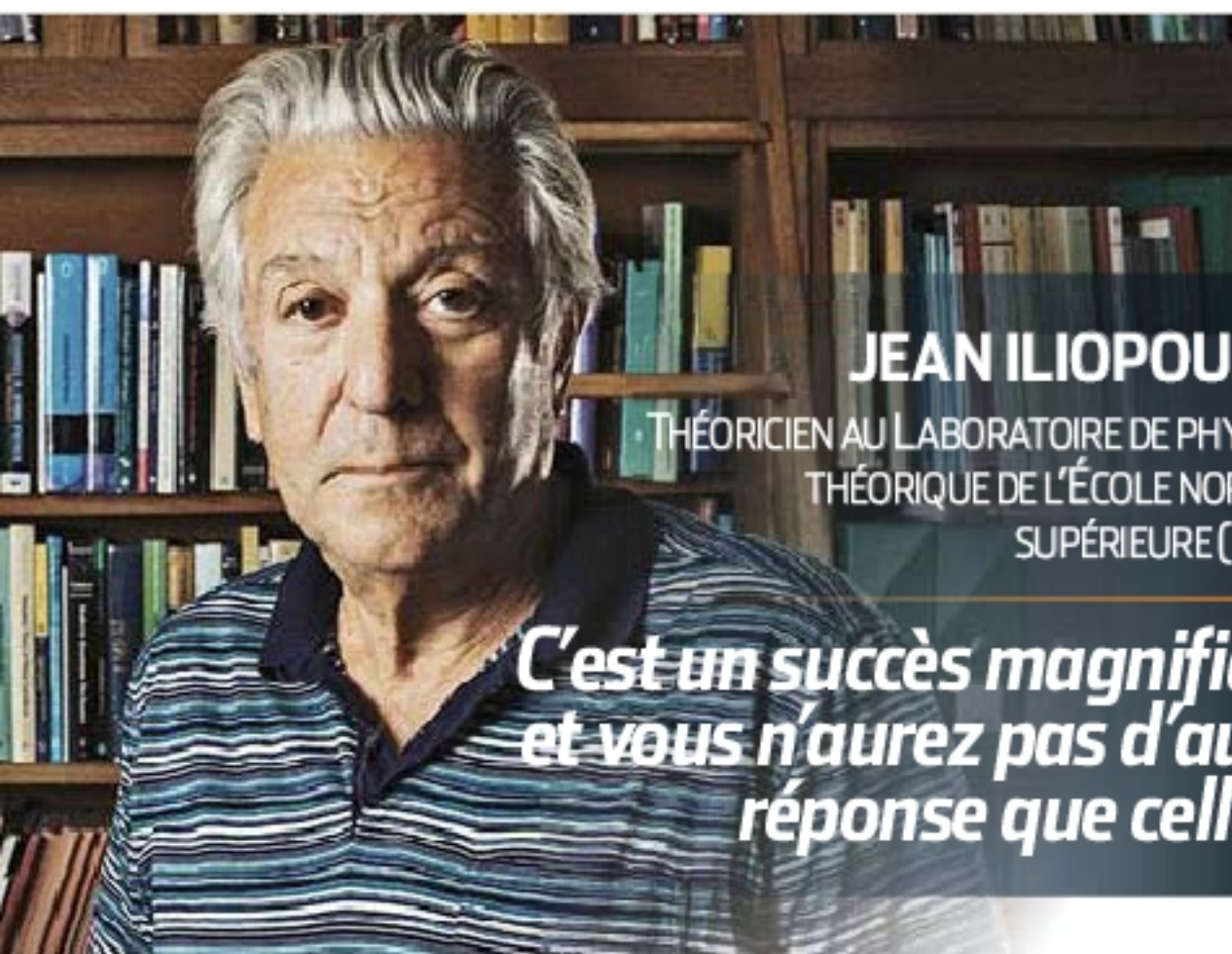
SOULAGEMENT ET... DÉCEPTION

Sur place, un observateur avisé n'aura pas manqué de relever comme une étrange ambivalence chez les spécialistes des particules. A croire que, malgré l'euphorie générale, quelque chose cloche. Slava Rychkov

est l'un des rares à exprimer clairement ce qu'il faut bien appeler, contre toute attente, un désappointement : *"Le boson de Higgs du modèle standard est la physique la plus ennuyeuse possible, soupire le théoricien du Laboratoire de physique théorique de l'Ecole normale supérieure (LPTENS), à Paris. Je suis donc plutôt déçu par ce qui a été découvert."* Une déception qu'il n'est pas le seul à ressentir. Ainsi, comme le confirme Abdelhak Djouadi, au Laboratoire de physique

théorique, à Orsay, associé à la division théorique du Cern, *"les avis sont partagés. Beaucoup sont ravis : en découvrant le Higgs, le LHC a rempli son contrat. Mais d'autres sont déçus, en particulier parmi les théoriciens qui travaillaient sur des alternatives au Higgs du modèle standard"*.

Evidemment, tous insistent sur le fait que la période est assurément l'une des plus extraordinaire qu'il puisse être donné de vivre à un spécialiste de physique fondamentale. *"Ces deux derniers mois ont été si intenses qu'ils m'ont paru des années"*, résumait d'ailleurs Abdelhak Djouadi début septembre. *"C'est un succès magnifique et vous n'aurez pas d'autre réponse que celle-ci"*, assène Jean Iliopoulos, au LPTENS, grand artisan du modèle standard. Et le fait que l'on ait observé ce à quoi on s'attendait ne rend pas cette découverte moins magnifique. Ce →



JEAN ILIOPOULOS

THÉORICIEN AU LABORATOIRE DE PHYSIQUE
THÉORIQUE DE L'ÉCOLE NORMALE
SUPÉRIEURE (PARIS)

**C'est un succès magnifique
et vous n'aurez pas d'autre
réponse que celle-ci**

→ que confirme son collègue Pierre Fayet: *"Il y a eu de nombreuses hypothèses exotiques, ce qui était nécessaire, au cas où... Mais elles étaient moins probables que l'observation d'un Higgs tel que prédit par le modèle standard."*

UN BOSON TROP STANDARD!

La découverte du Higgs est ainsi ressentie comme un vrai soulagement. Car que se serait-il passé si le LHC n'avait rien découvert du tout? Cette hypothèse a hanté les scientifiques jusqu'à la fin, le Higgs pouvant tout simplement ne pas exister, ou posséder des propriétés si étranges que même le LHC ne pouvait le détecter; il aurait également pu s'avérer impossible d'extraire le signal de son existence du bruit parasite intense engendré par l'accélérateur géant. *"D'un point de vue théorique, cela aurait peut-être été plus intéressant, sourit Christophe Grojean, à la division théorique du Cern. Mais politiquement, cela aurait été perçu comme un échec terrible."* De fait, comment faire passer une telle pilule auprès des décideurs ou du public après avoir pendant vingt ans présenté le Higgs comme "la" justification d'une machine qui

aura coûté plusieurs milliards d'euros? Et pourtant, Alvaro de Rujula, ancien directeur de la division théorique du Cern, a cette formule qui résume à elle seule l'état d'esprit de la communauté des physiciens des particules après des décennies d'attente fébrile: *"Je suis ravi trois jours par semaine, soulagé deux jours... et déçu les deux derniers!"*

Mais pourquoi diable? Le problème est que si l'actuelle théorie de l'infiniment petit est un absolu triomphe de la pensée, les spécialistes savent qu'elle ne peut pas être la fin de l'histoire. Pour des raisons théoriques très précises, il est nécessaire qu'existe une physique au-delà. Physique qui pourrait se traduire par l'apparition de phénomènes non prévus par la théorie au LHC, en particulier des déviations des propriétés du boson de Higgs par rapport à celles prédites par le modèle standard. Sauf qu'avec un boson de Higgs *a priori* conforme aux prédictions dudit modèle, pas sûr que les physiciens mettent un pied sur cette nouvelle terre promise avant longtemps.

Preuve que les résultats ne sont pas forcément à la hauteur des espérances, la manière dont certains spécialistes ont revu les



GUILLAUME UNAL

MEMBRE DE LA COLLABORATION
ATLAS

**L'analyse de ce
que nous avons
entre les mains
ne fait que
commencer**

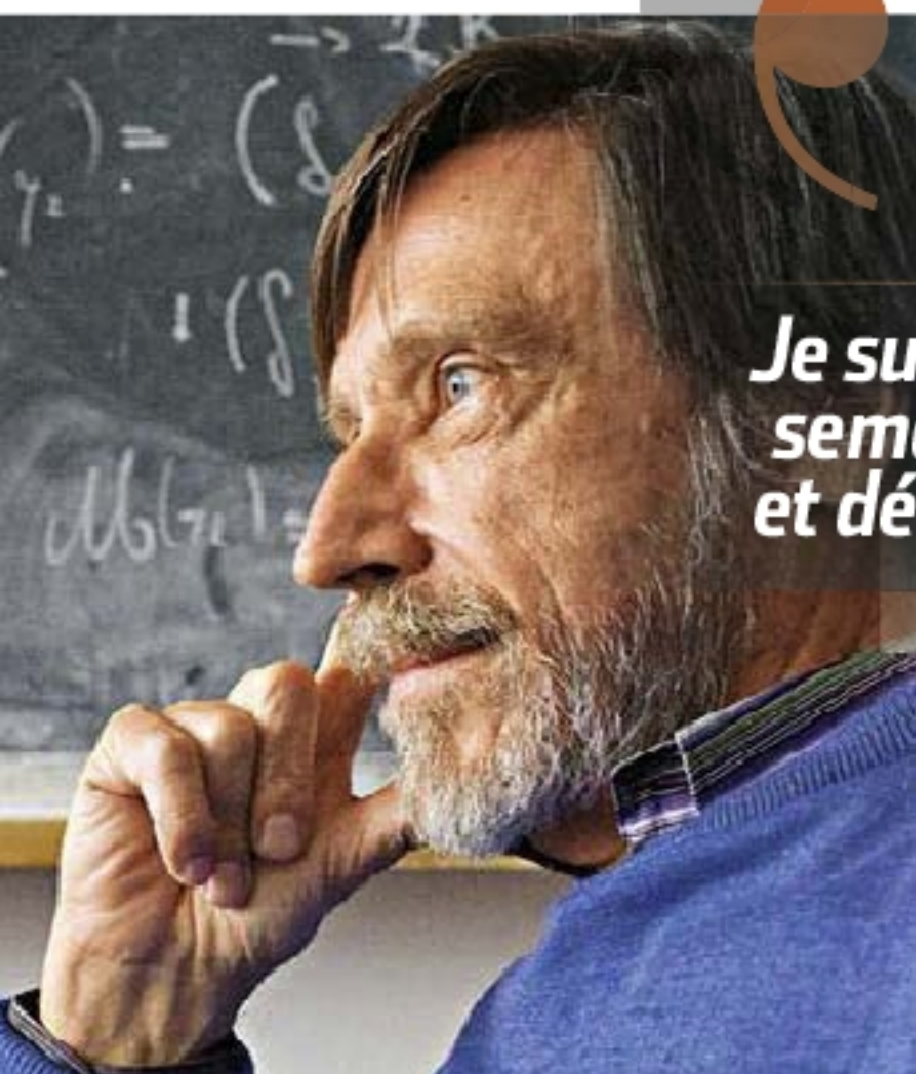
leurs à la baisse... Ainsi, avant le démarrage du LHC, un théoricien nous confiait l'importance de découvrir des particules exotiques prédites par les nombreuses théories au-delà du modèle standard. Puis, début 2012, devant leur absence, ce même physicien nous expliquait qu'après tout, un Higgs présentant quelques propriétés non standard serait déjà une chose merveilleuse. Pour, finalement, face à un boson tout ce qu'il y a de plus standard, nous préciser que la vérification d'une théorie à laquelle tout le monde croit depuis les années 1970 est déjà en soi une chose extraordinaire...

Cela dit, les physiciens ne manquent pas de rappeler que le LHC ne fonctionne que depuis 2010, et encore, à la moitié de sa puissance nominale. Après une phase de travaux d'environ deux ans, il fonctionnera ensuite pendant quinze ans à pleine puissance. Il est donc tout à fait possible que l'on finisse par observer les traces

FAITS & CHIFFRES

Postulé en 1964, le boson de Higgs a nécessité **48 années** pour être mis en évidence avec une probabilité de **99,9999 %**. Sa masse est de **126 GeV**.

C'est lui qui confère leur masse aux autres particules élémentaires. Il était la dernière pièce manquante du modèle standard de la physique des particules.



ALVARO DE RUJULA

ANCIEN DIRECTEUR DE LA DIVISION
THÉORIQUE DU CERN

***Je suis ravi trois jours par
semaine, soulagé deux...
et déçu les deux derniers !***

d'une nouvelle physique que l'on espère depuis ces deux dernières années. Autrement dit, il est trop tôt pour s'inquiéter.

Il n'empêche, entre succès expérimental, prise de conscience de ce qu'impliquent les résultats et retenue dans la communication, les physiciens en sont là : à la période de griseries spéculatives de "l'avant-Higgs", exaltée par l'imminence d'une découverte comme il ne s'en produit que tous les 20 ou 30 ans, succède désormais une phase d'acceptation d'une réalité expérimentale peut-être moins aguichante et plus prévisible, qui relègue au rang de belles idées fausses de nombreux "possibles". *"Nous devons changer un peu notre façon de penser dans le travail,"* décrit Guillaume Unal, membre de la collaboration Atlas. *"Nous étions focalisés sur une découverte, avec toute l'excitation que cela implique. Il faut maintenant s'atteler à une analyse scrupuleuse et détaillée de ce que nous avons entre les mains... ce qui ne fait que commencer."* Autrement dit, après une séquence où le temps scientifique, déformé par l'euphorie de la découverte, a semblé au diapason de l'urgence médiatique, c'est

désormais un retour au temps long de la science, pétri de doute, d'attente, d'incertitude. Ce que confirme Christophe Grojean : *"La physique ne va pas s'arrêter... Les prochaines années seront sans doute consacrées à comprendre encore plus en détail le modèle standard et ses zones d'ombre. Il n'y a peut-être pas là toute la saveur de l'extrême nouveauté, mais nous sommes face à de beaux challenges intellectuels."*

ET S'IL SIGNAIT LA FIN DU LHC ?

Certains sont plus sombres, comme ce physicien qui a participé à la découverte du Higgs, et qui nous confiait récemment que *"si d'ici la fin de l'année, nous confirmons que la particule que nous avons découverte ressemble davantage encore au Higgs du modèle standard, je ne dirais pas que nous serons dans une impasse, mais ce sera sans doute plus difficile de trouver des traces de nouvelle physique"*. Avant d'ajouter : *"Mais attention, ne me faites pas dire ça !"*

Cette fébrilité – et cette peur de trop en dire – tient sans doute



CHRISTOPHE GROJEAN

PHYSICIEN À LA DIVISION THÉORIQUE DU CERN

***Politiquement, ne pas
découvrir le Higgs aurait été
perçu comme un terrible échec***

à une autre réalité. Car, comme le concède Jean Iliopoulos, *"il est probable que le LHC ait déjà fait la plus spectaculaire de ses découvertes"*. Et s'ils veulent continuer à explorer les arcanes de l'infiniment petit dans les décennies à venir, les physiciens savent qu'ils devront bientôt penser concrètement à une future machine plus puissante et/ou plus précise que le LHC, pour l'après 2030. Or, dans cette course au gigantisme, indispensable pour repousser plus loin les frontières de l'infiniment petit, il est clair que les variables économiques, en ces temps de crise, pèseront lourd. Et qu'elles dépendront crucialement des promesses et des rêves que les physiciens pourront porter devant les décideurs, lesquels sont fonction de la réalité que l'accélérateur, dès aujourd'hui, manifeste dans son creuset. D'où l'urgence, pour le LHC, d'entrouvrir le plus tôt possible les portes de cette nouvelle physique que les chercheurs appellent de leurs vœux depuis si longtemps. Ce qui, malgré le réel enthousiasme suscité par la découverte du Higgs, ternit un peu la fête. ■

CHOLESTÉROL

ET SI LE COMBATTRE PROTÉGEAIT DU CANCER...

On le sait, le cholestérol est mauvais pour la santé. Mais à quel point ? C'est ce que sont en train d'établir les biologistes après des années de cacophonie. Outre le risque cardio-vasculaire, son taux trop élevé jouerait un rôle primordial dans certains cancers ! Un simple traitement pour le cœur suffirait-il dès lors à enrayer le développement d'une tumeur ? Enquête.

PAR CORALIE HANCOCK



2,30 g/l
facteurs de risque
antécédents familiaux
culé et HDL minoré

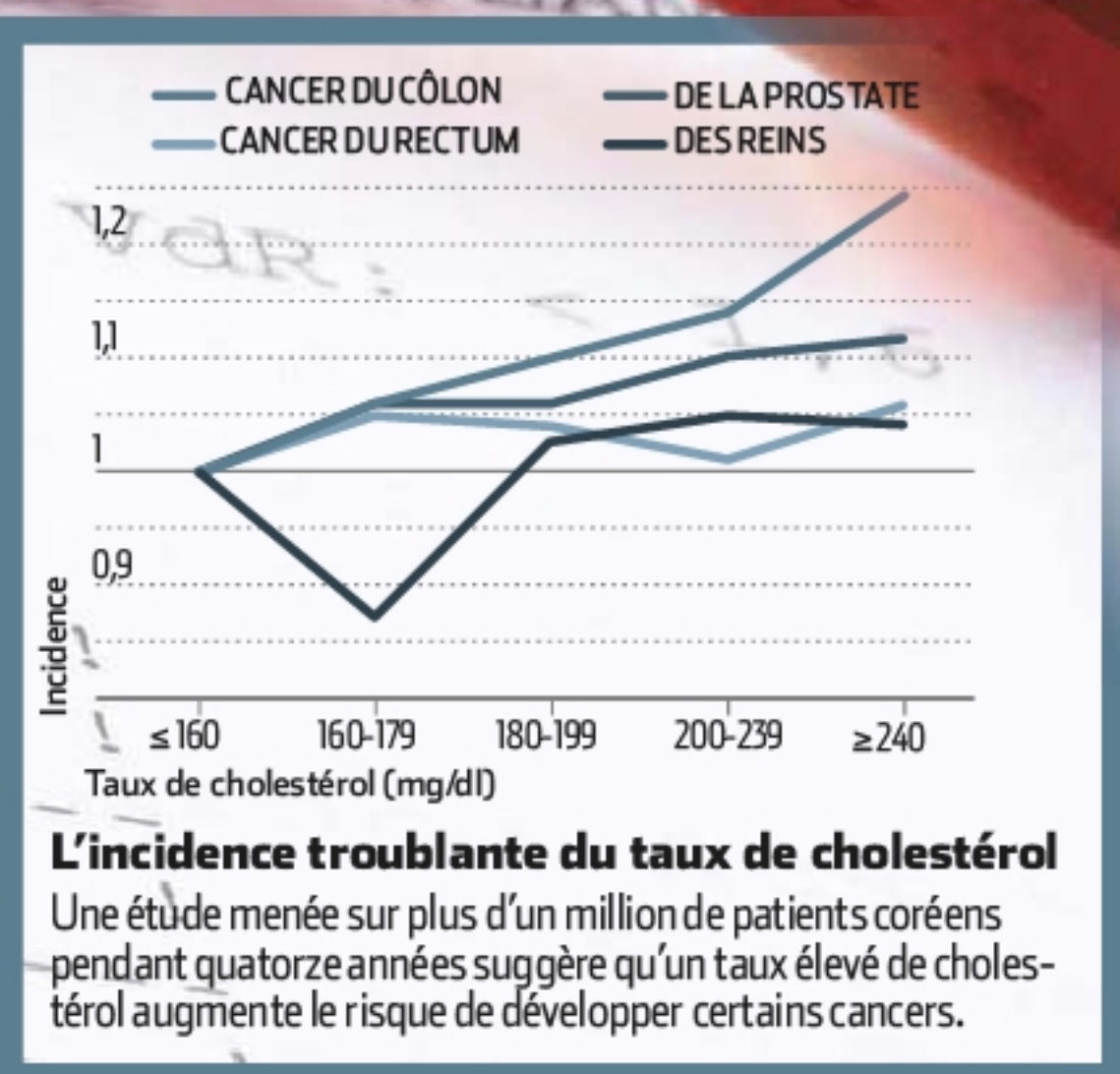
Valeur
souhaitable

< 1,60 g/l

< 1,30 g/l

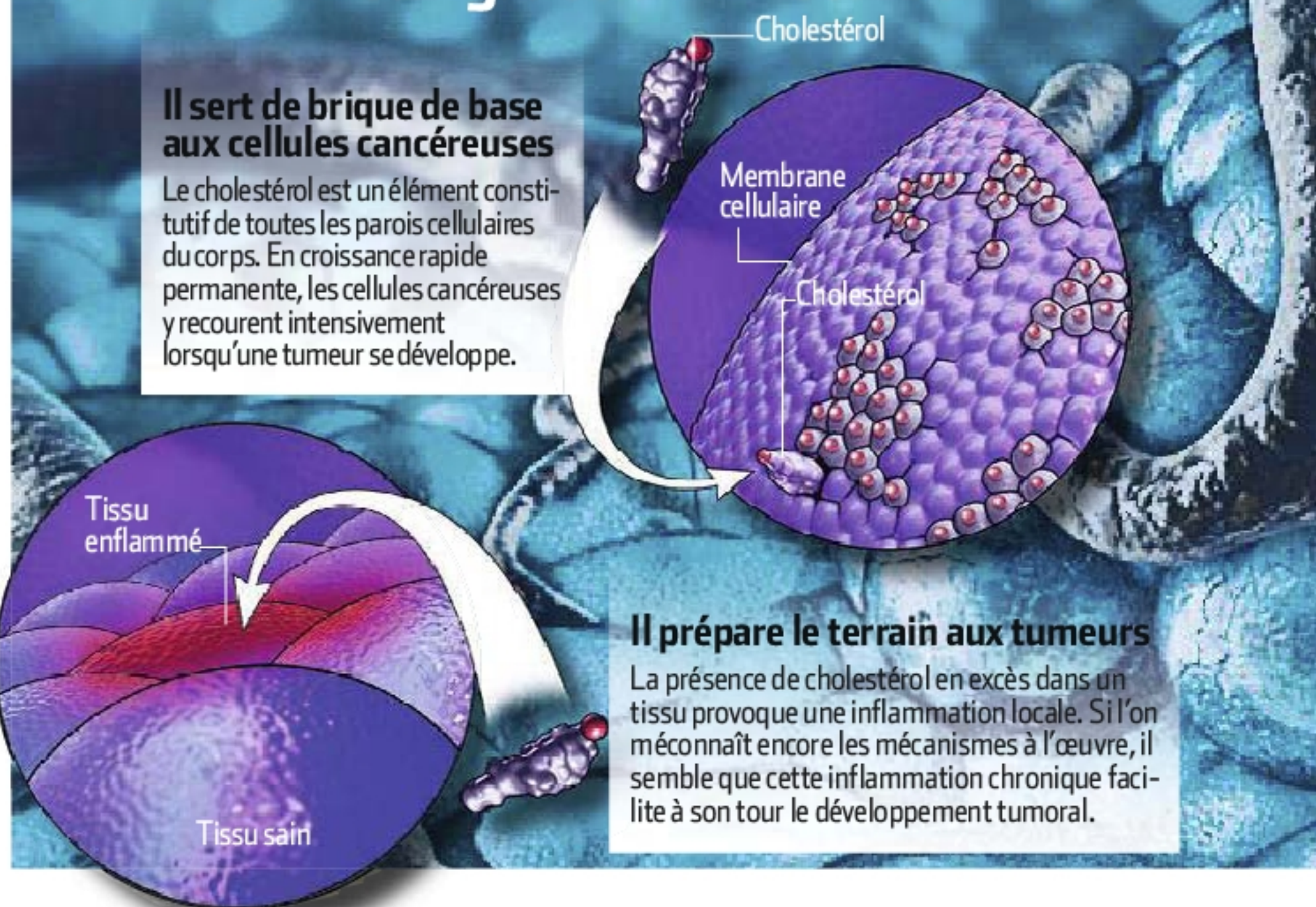
< 1,00 g/l

SOURCE : JOURNAL OF CLINICAL ONCOLOGY, 2011



Le cholestérol favorise la croissance d'une tumeur grâce à 4 mécanismes

Voici des décennies que les cardiologues nous le martèlent : surveiller son taux de cholestérol dans le sang permet de limiter le risque de souffrir de maladies cardio-vasculaires, lesquelles sont responsables de 17 millions de décès à travers le monde chaque année ! Tout un chacun a ainsi été sensibilisé à la nécessité d'équilibrer son taux de "mauvais" et de "bon cholestérol" afin de minimiser le risque, la cinquantaine venue, de succomber à un infarctus. Pourtant, selon un nombre croissant de chercheurs, le taux de cholestérol n'aurait pas uniquement à voir avec nos artères et les maladies cardio-vasculaires... mais doit aussi être mis en rapport avec le cancer. Et, sur ce terrain, son rôle aussi primordial qu'inattendu devrait bouleverser la perception que l'on s'en fait. En effet, s'affranchissant carrément des notions de "bon" et "mauvais" cholesté-



rols, ces chercheurs ne retiennent qu'une observation : un taux élevé de substance lipidique dans notre sang augmenterait le risque d'être victime de certaines tumeurs. Les études qui s'accumulent sur le sujet sont de plus en plus concordantes. Alors, faut-il combattre le cholestérol, non plus seulement pour protéger notre cœur, mais pour entraver le développement tumoral ? En faisant d'une pierre deux coups.

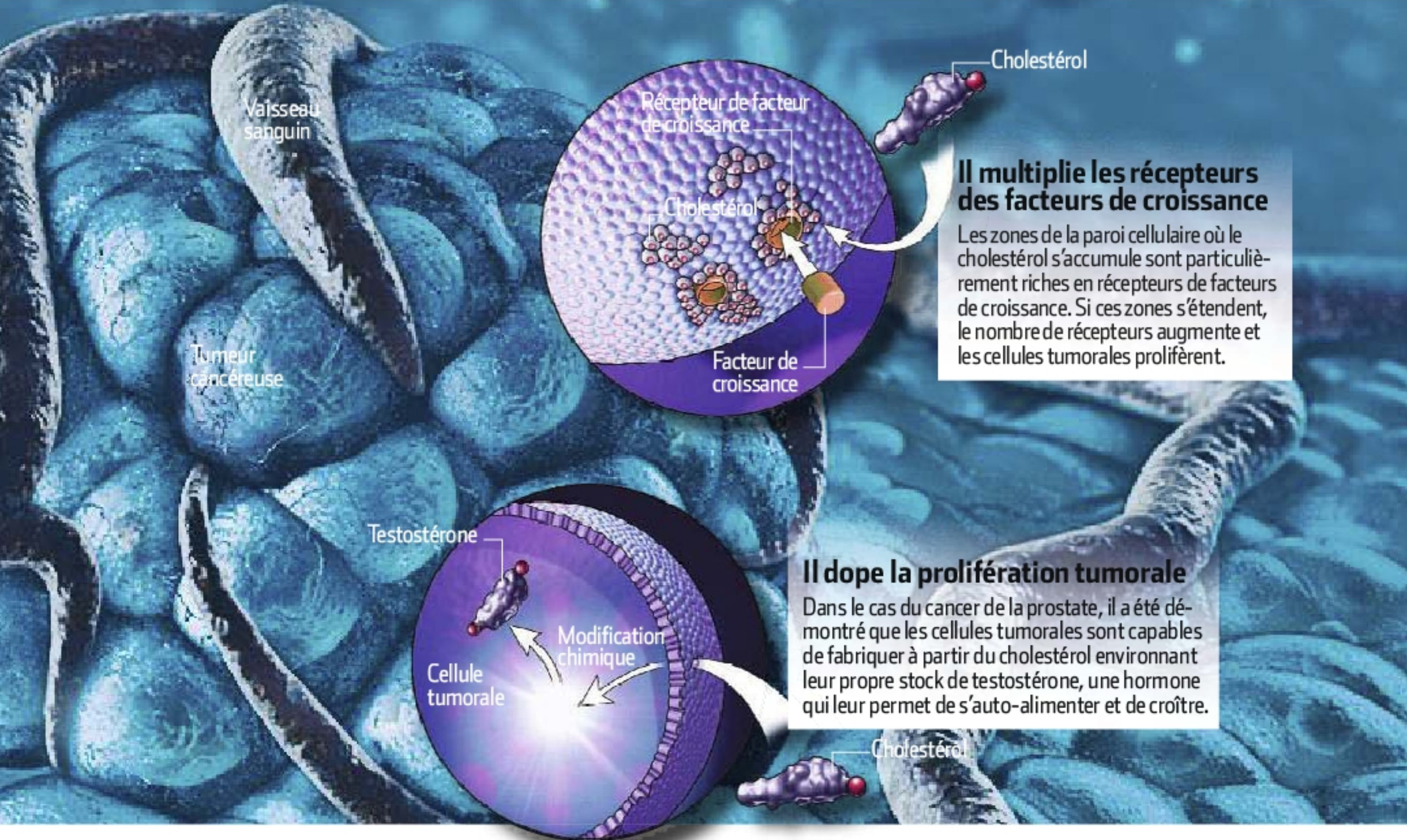
Surprenant ? Pour les malades, certainement. Pour le milieu de la recherche un peu moins. "Le rôle du cholestérol dans la formation des tumeurs est suspecté depuis longtemps mais, ces dernières années, l'épidémiologie et la biologie cellulaire nous permettent enfin de le clarifier", annonce Marc Poirot, du Centre de recherche en cancérologie de Toulouse. Des éclaircissements indispensables tant, dans ce domaine, la cacophonie a longtemps régné. Ainsi, dès les années 1980, de nombreuses études épidémiologiques indiquaient un lien étonnant : au regard du risque cancéreux, avoir du cholestérol apparaissait... bon pour la santé ! Des personnes ayant des taux élevés semblaient bénéficier d'une certaine protection vis-à-vis du risque de cancer. Et inversement. Mais les explications biologiques manquaient alors cruellement pour soutenir cette hypothèse... qui sembla



MARC POIROT

CHERCHEUR AU CENTRE DE RECHERCHE EN CANCÉROLOGIE DE TOULOUSE

Suspecté depuis longtemps, le rôle du cholestérol dans la formation des tumeurs devrait enfin être clarifié



Il multiplie les récepteurs des facteurs de croissance

Les zones de la paroi cellulaire où le cholestérol s'accumule sont particulièrement riches en récepteurs de facteurs de croissance. Si ces zones s'étendent, le nombre de récepteurs augmente et les cellules tumorales prolifèrent.

Il dope la prolifération tumorale

Dans le cas du cancer de la prostate, il a été démontré que les cellules tumorales sont capables de fabriquer à partir du cholestérol environnant leur propre stock de testostérone, une hormone qui leur permet de s'auto-alimenter et de croître.

pourtant bien être confirmée par la publication, en 2009 et 2011, des résultats de deux vastes études épidémiologiques.

DES RÉSULTATS TROMPEURS AU PREMIER ABORD

Dans la première, l'équipe de Demetrius Albanes (National Cancer Institute, Bethesda, Etats-Unis) conclut, après avoir suivi pendant dix-huit ans plus de 29000 Finlandais de sexe masculin, qu'un taux élevé de cholestérol est associé à une diminution du risque cancéreux de 15 %. L'équipe de Sun Ha Jee, épidémiologiste à l'université de Séoul (Corée du Sud), obtint, elle, des résultats similaires, mais cette fois sur plus d'un million de Coréens suivis pendant quatorze ans. Ainsi présentée, l'affaire semblait donc entendue: avoir du cholestérol protégerait des cancers... Au risque, cependant, de succomber d'une maladie cardio-vasculaire.

Sauf qu'à y regarder de plus près, les auteurs de ces travaux

ont réalisé que le scénario n'était pas si simple. *"En réalité, l'association entre faible taux de cholestérol et augmentation du risque cancéreux disparaît lorsqu'on exclut les premières années de suivi, explique aujourd'hui Demetrius Albanes. Même chose dans l'étude coréenne. Avec cette fois une explication biologique. "Du fait de leur croissance rapide, les cellules cancéreuses sont de grosses consommatrices de cholestérol, précise Jean-Marc Lobaccaro, du laboratoire Génétique, reproduction et développement, à l'université de Clermont-Ferrand. Pour faire face à leurs besoins, elles capturent le cholestérol sanguin avec, pour effet, une diminution de celui-ci chez les patients cancéreux."* Cela signifie que durant les premières années d'études, certaines personnes avaient en réalité déjà un cancer non diagnostiqué, dont leur faible taux de cholestérol était en fait la conséquence et non la cause.

JARGON

"Bon" ou "mauvais" cholestérol, la molécule est la même, c'est son véhicule qui change. Ainsi, le bon cholestérol circule dans le sang à l'aide de **lipoprotéines de haute densité (HDL)**. Grâce à elles, le cholestérol en excès est amené vers le foie où il sera éliminé. A l'inverse, les **lipoprotéines de basse densité (LDL)** transportent le cholestérol du foie vers les cellules. En excès, ce cholestérol LDL peut alors s'accumuler dangereusement dans nos artères...

Un taux élevé n'est donc pas protecteur, et le dilemme qui aurait consisté à mettre chacun en demeure de "choisir" entre risque d'infarctus ou risque de cancer ne se pose heureusement pas... Au contraire: un taux élevé de cholestérol pourrait même faire courir un risque supplémentaire. Car, lorsque les chercheurs coréens observent les effets du cholestérol cancer par cancer, certains d'entre eux semblent être fortement favorisés par un taux élevé. Ainsi, lorsque ce taux est, chez l'homme, supérieur à 240 mg/dl, les chercheurs observent une augmentation de 24 % du cancer de la prostate et de 12 % du cancer du côlon. Chez la femme, le cancer du sein augmente de 17 % chez celles ayant un taux supérieur à 240 mg/dl par rapport à celles ayant un taux inférieur à 160 mg/dl. *"Les cancers de la prostate, et à un niveau de preuve un peu moins élevé ceux du sein, sont ceux pour lesquels plusieurs études →*

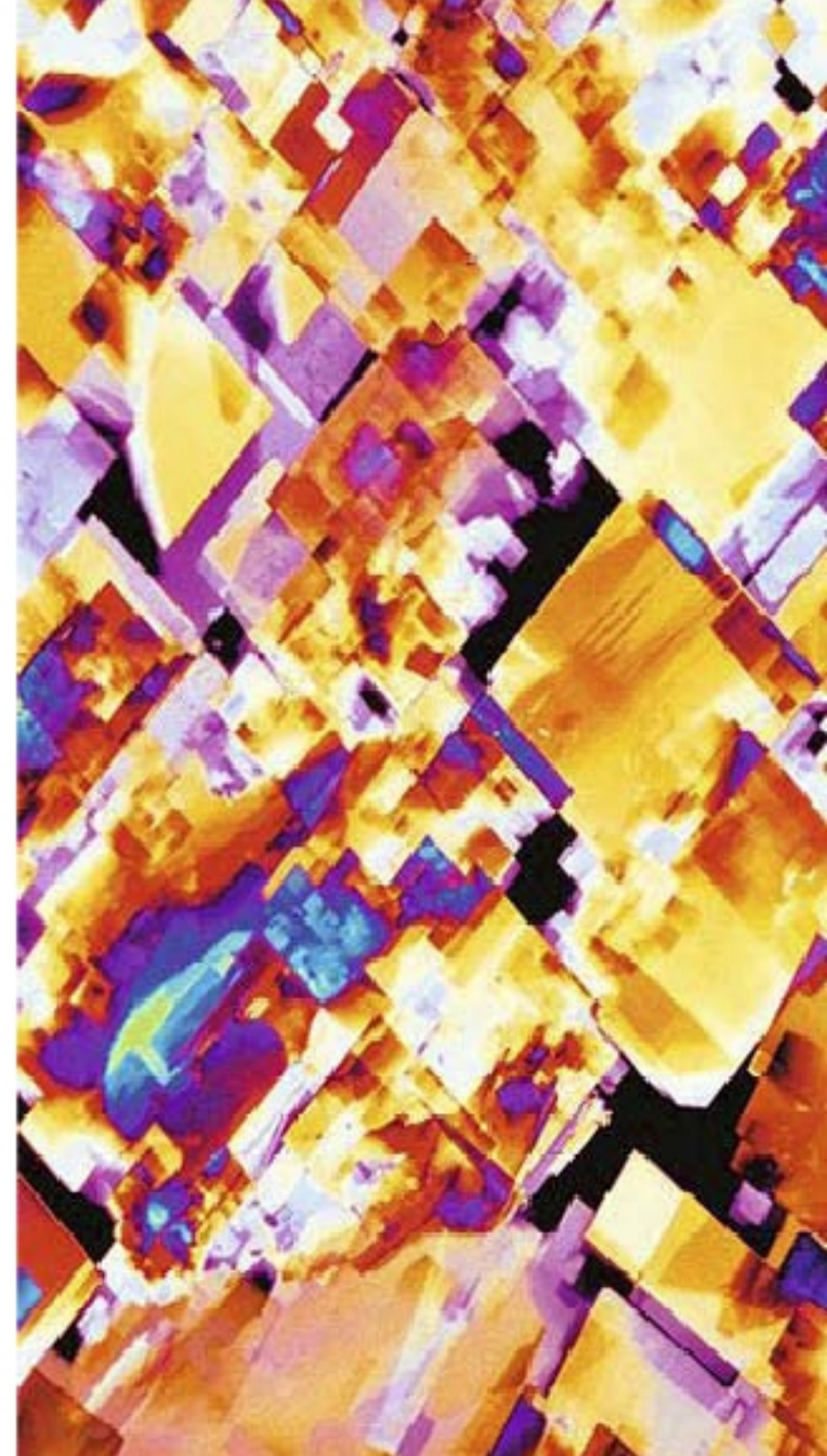
→ *épidémiologiques récentes ont démontré un lien entre taux de cholestérol élevé et augmentation du risque*", confirme Marc Poirot. Et on commence même à comprendre pourquoi...

Parmi les explications avancées: le caractère inflammatoire du cholestérol, déjà impliqué dans l'augmentation du risque cardio-vasculaire. *"Les mécanismes ne sont pas bien compris, mais le lien entre inflammation chronique et cancer a été établi depuis des années"*, note Keith Solomon, du Centre de recherche sur les maladies urologiques de Boston (Etats-Unis). Mais ce chercheur travaille sur un mécanisme bien plus étonnant. *"En 2008, une équipe de chercheurs américains a démontré que les cellules tumorales de la prostate, qui normalement ne fabriquent pas de testostérone, étaient capables d'en synthétiser à partir du cholestérol, qui est un précurseur de la testostérone"*, relate-t-il. Or, cette hormone est

notamment connue pour faire flamber la croissance tumorale. Ici, tout se passe comme si, localement, des cellules malignes détournent le cholestérol pour fabriquer elles-mêmes l'hormone qui boostera leur développement. Cette fonction acquise par les cellules tumorales pourrait être selon lui ni plus ni moins qu'une réponse à l'excès de cholestérol.

IL FAUT METTRE AU POINT UNE MOLECULE QUI PRIE LES TUMEURS DE CHOLESTEROL

"La testostérone n'est pas à l'origine de la tumeur, mais elle est connue pour en favoriser la croissance", explique Keith Solomon. C'est pourquoi on prescrit des inhibiteurs de récepteurs à la testostérone chez les patients souffrant de cancer de la prostate. Malheureusement, certains d'entre eux semblent résister à ce traitement: même si leur organisme ne sécrète plus de testostérone, leur



cancer continue de progresser. Une résistance que pourraient expliquer les travaux de Keith Solomon: *"En sécrétant leur propre testostérone à partir de cholestérol, les cellules tumorales s'auto-alimentent."* Alors? Faut-il, pour prévenir les risques cancéreux et cardiaques, faire baisser coûte que coûte son taux de cholestérol? Keith Solomon défend cette hypothèse: *"Nos études suggèrent que diminuer son taux de cholestérol pourrait prévenir le cancer de la prostate."* Comment faire? *"Par l'alimentation, l'exercice et, le cas échéant, un traitement comme les statines."*

LE TAUX DE RÉCIDIVE DIMINUE

Dans le cas de ces médicaments, déjà prescrits en masse par les cardiologues, *"certaines études montrent, notamment chez les patients ayant subi une ablation de la prostate, une diminution de la récurrence chez ceux qui, en raison d'un risque cardiaque, prennent des statines"*, confirme Jean-Marc Lobaccaro. Déjà sur le marché et bien connus

VRAIMENT MAUVAIS POUR LE CŒUR?

Après le tabac, l'alcool et l'hypertension, l'OMS classe le cholestérol en 4^e position des facteurs de risque cardio-vasculaire. D'où l'objectif de le faire baisser chez les patients, souvent à l'aide de statines. Le cardiologue Michel de Lorgeril, de la faculté de Grenoble, s'est opposé à ce discours (voir S&V n° 1088, p. 96). A en croire le titre explicite de l'ouvrage qu'il publiait en 2008 (*Dites à votre médecin que le cholestérol est innocent, il vous soignera sans médicament*, Thierry Souccar éditions), les études épidémiologiques ayant montré une corrélation entre taux de cholestérol élevé et développement

des maladies cardio-vasculaires n'indiquent pas que le cholestérol en soit la cause. Sans compter que celles-ci ont souvent été réalisées sur des patients d'Europe du Nord ou d'Amérique du Nord où le risque cardiaque est beaucoup plus élevé... Or, à taux de cholestérol égal, les Européens du Sud souffrent moins de maladies cardio-vasculaires. C'est ce qu'on appelle le "French paradox". Dernier argument du cardiologue: la consommation de statines a crû exponentiellement, sans que le nombre d'infarctus diminue. De quoi jeter le trouble sur ces médicaments parmi les plus prescrits au monde.



➤ Pour lutter contre les risques cardio-vasculaires liés au cholestérol (ici, sous forme de cristaux), les statines sont prescrites en masse. Ces médicaments semblent également prévenir le risque de cancer, mais ils présentent de dangereux effets indésirables.

des médecins, ces médicaments auraient le profil parfait pour mener des expériences plus poussées. Sauf que les statines ne sont pas sans défaut, loin de là. Elles peuvent provoquer de graves effets indésirables dont, chez 6 à 7 % des patients, d'importants troubles musculaires. Des effets auxquels la très officielle Food and Drugs Administration américaine a ajouté en février dernier des troubles de la mémoire et des effets diabétogènes. Au point que la polémique est de plus en plus vive sur leur utilisation, même dans la lutte contre les risques cardio-vasculaires (voir encadré). Dans ce contexte, le développement de nouvelles molécules hypocholestérolémiantes pourrait constituer

une alternative. Ainsi, Jean-Marc Lobaccaro et son équipe testent des molécules capables de pousser les cellules à rejeter leur propre cholestérol. Pourquoi cibler le cholestérol constitutif des cellules ou lieu de se limiter à celui qui circule dans le sang ? *“Parce que les zones de la membrane cellulaire sur lesquelles le cholestérol s'est accumulé renferment de très nombreux récepteurs LXR, capables de servir de portes d'entrée aux facteurs de croissance cellulaire. Nous avons montré que plus le cholestérol s'étend à la surface, plus l'accessibilité des facteurs de croissance à leurs récepteurs augmente. Nous essayons d'inverser ce processus responsable de la prolifération des cellules, de l'inhibition de leur mort et,*

finalement de l'apparition de tumeurs”, explique le chercheur. Avec succès en laboratoire.

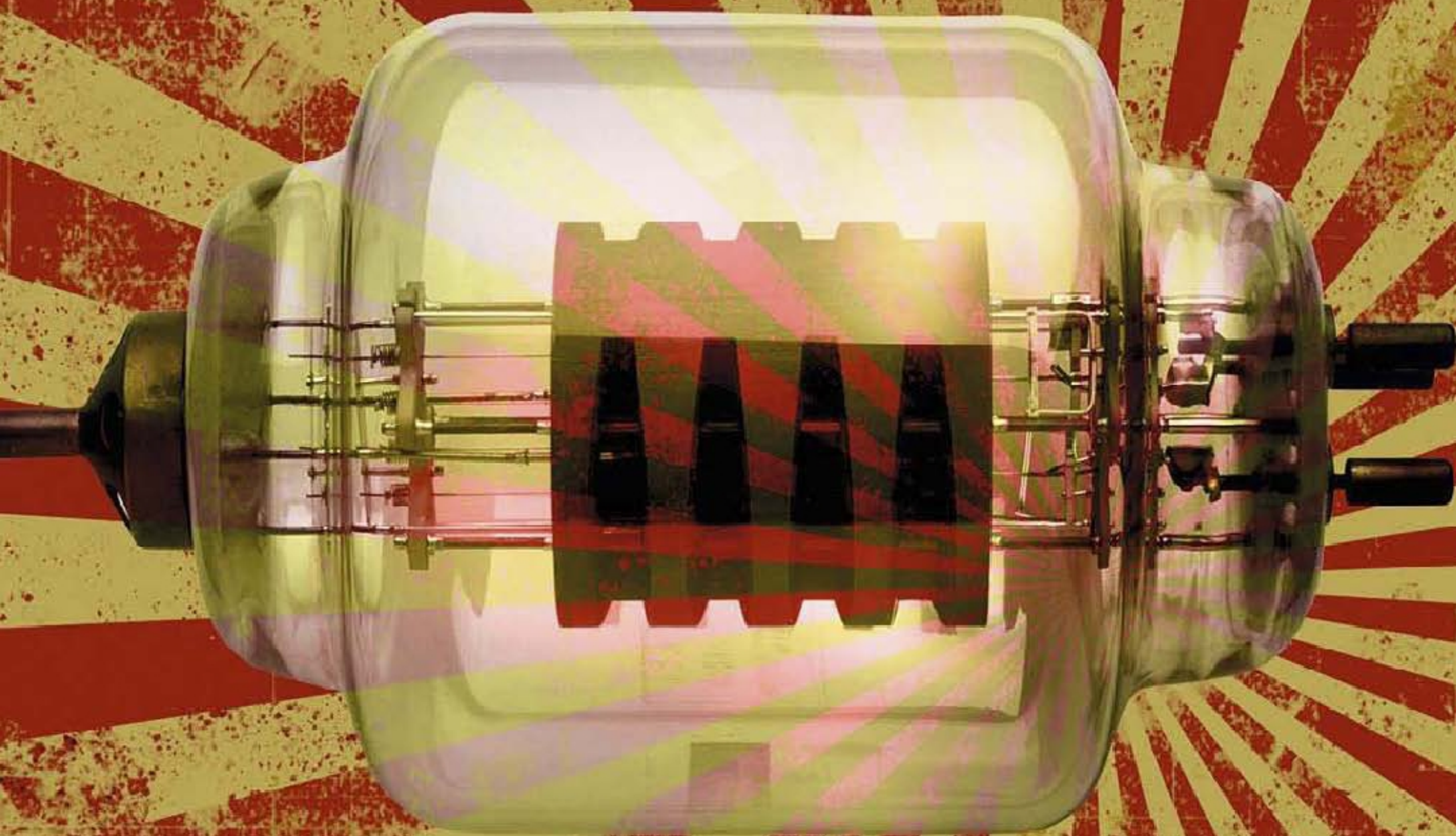
De nombreuses équipes à travers le monde travaillent déjà à l'élaboration de ce type de molécule. Mais dans cette course, l'équipe de Marc Poirot possède une longueur d'avance. Elle a en effet découvert que la dendrogénine A, une molécule cette fois naturellement synthétisée par l'organisme, est elle aussi capable d'activer les récepteurs LXR. Et Marc Poirot d'annoncer que *“des essais chez l'homme pour le traitement de la leucémie devraient débuter d'ici deux ans”*. Ironie du sort, la dendrogénine A est un dérivé secondaire du cholestérol. Ainsi donc, le cholestérol ne serait pas toujours l'ennemi de notre santé... ■



KEITH SOLOMON

CHERCHEUR AU CENTRE DE RECHERCHE SUR LES MALADIES UROLOGIQUES DE BOSTON (ÉTATS-UNIS)

Selon nos études, faire baisser le taux de cholestérol pourrait prévenir le cancer de la prostate



LA REVANCHE DES VIEILLES TECHNOS

Elles connurent leur heure de gloire... et puis l'oubli. Mais voici qu'une seconde chance leur est offerte, soit que leurs défauts ont été corrigés, soit que celles qui les ont supplantées atteignent leurs limites. Du tube à vide au maser, hommage à 6 technologies qui, aujourd'hui réhabilitées, prouvent que le passé peut être source d'avenir.

PAR VINCENT NOUYRIGAT, AVEC
M. FONTEZ, R. IKONICOFF, M. VALIN

Leur histoire est poignante. Après plus d'un demi-siècle de solitude passé au fin fond d'un musée, de vieilles inventions s'appêtent à reprendre une place de choix dans notre monde rutilant d'objets high-tech. Ne souriez pas : avant de devenir poussiéreuses, ces technologies firent preuve, en leur temps, de qualités remarquables. Certaines ont même connu leur heure de gloire... avant de voir leur destin brisé, supplantées par des rivaux demeurés célèbres, eux. Ainsi, le tube à vide (appelé aussi lampe radio) qui équipait les ordinateurs a cédé face au transistor ; le courant électrique continu qui alimentait les ménages a jeté l'éponge au profit du courant alternatif ; le moteur à air chaud Stirling employé dans les mines s'est effacé devant le moteur à explosion, etc. Or, voilà que soixante, quatre-vingts ou cent ans après leur défaite, ces grands oubliés connaissent un retour en grâce aussi remarquable qu'inattendu : car, sous leurs dehors archaïques, se cache telle ou telle propriété désormais très prisée. Si bien qu'aujourd'hui, une poignée de scientifiques, et parfois même d'industriels, se fait fort de les ressusciter avec des moyens modernes.

Retour vers le futur... *"Qui n'a jamais succombé au frisson de réécrire l'Histoire?",* interpelle Vincent Bontems, philosophe des sciences au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). *Il suffit de voir le nombre de films de science-fiction actuels qui mettent en scène des... ballons dirigeables. On ne peut s'empêcher d'imaginer ce que serait notre quotidien si telle technique, plutôt qu'une autre, s'était imposée.* Et très vite, une question se pose : comment expliquer le succès, ou l'échec, d'un concept ? Economistes, sociologues et

historiens de l'innovation en ont fait un sujet de recherche depuis les années 1980. Car le résultat des batailles homériques auxquelles se livrent les différents procédés est assez mystérieux. Qu'il s'agisse du filetage des vis ou de réacteurs nucléaires, *"le vainqueur n'est pas forcément celui doté des meilleurs avantages techniques"*, relève Robin Cowan, spécialiste des changements techniques au Bureau d'économie théorique et appliquée (université de Strasbourg). Et pour cause, *"les technologies en compétition n'en sont alors qu'à leurs premiers stades de développement : les ingénieurs savent bien peu de choses à leur sujet, et il est très difficile d'évaluer leur potentiel de progrès à venir"*. Or, dans ces moments d'incertitude, de tout petits détails peuvent décider de leur entrée sur le marché : un prototype testé dans des conditions défavorables, un accident, la volonté d'un inventeur charismatique, une décision en haut lieu... Parfois ce n'est pas le meilleur qui l'emporte, mais celui qui tombe au bon moment.

UNE PRISE DE RISQUES MINIMALE

Dès lors, la technologie ayant pris l'avantage s'ouvre une voie royale vers une domination quasi absolue – pour peu qu'elle fonctionne à peu près correctement ! Comme l'explique Robin Cowan, *"plus encore que la fabrication et les essais en laboratoire, l'usage précoce d'une technologie par le public permet d'acquérir une expérience précieuse, qui servira à l'améliorer, à réduire ses incertitudes et donc à favoriser son adoption ultérieure par de nouveaux consommateurs"*. Pour l'heureuse élue, un puissant cercle vertueux se met en place. Quand bien même d'autres technologies rivales promettent sur le papier des performances supérieures, celles-ci représentent, faute d'usage, une sérieuse prise de risques. L'exemple le plus souvent cité – quoique contesté – étant celui du clavier d'ordinateur Dvorak, qui garantit depuis les années 1930 une disposition des touches plus ergonomique que celle du tout puissant clavier Azerty, héritage direct des machines à écrire d'antan et de leur mécanique alambiquée. *"Ce phénomène est connu sous le nom de →*

< Le moteur breveté en 1816 par le révérend Stirling (ici, le modèle original) n'avait pas fait le poids face au moteur à explosion...



> Deux siècles plus tard, sa capacité à valoriser n'importe quelle source de chaleur se fait apprécier (ici, lors d'un concours d'ingénieurs, cet été à Tokyo).



gaz, rayons solaires). "Ce type de combustion offre une plus grande pureté thermodynamique, insiste Pascal Stouffs, du Laboratoire de thermique, énergétique et procédés (université de Pau). Seulement voilà, à l'heure d'équiper les voitures, le moteur Stirling s'est révélé trop volumineux et inadapté aux variations de régime." Sans compter que l'acier *ad hoc* a été inventé... trop tard. Fin de l'histoire? Que nenni! Après plus d'un siècle d'exposition dans les musées, teinté de quelques succès d'estime chez les ingénieurs, ce moteur est maintenant commercialisé par plusieurs grandes entreprises (GDF-Suez, Schneider Electric, etc.). C'est que "les conditions de sa réhabilitation sont désormais réunies!", se réjouit Pascal Stouffs. Son mode

THERMIQUE

LA REVANCHE... DU MOTEUR STIRLING

Imaginez un moteur à la fois efficace, robuste, silencieux et possiblement sans rejets! Eh bien, ce petit bijou a été inventé en 1816 par un révérend écossais, Robert Stirling... avant d'être vite chassé par le trop fameux moteur à explosion. Ici, pas de violente explosion à l'intérieur d'un piston, mais un subtil jeu de compression/détente de l'air généré à partir d'une source de chaleur extérieure (pétrole,

de fonctionnement régulier convient tout à fait aux voitures hybrides. De plus, insiste le thermicien, "contrairement aux autres moteurs, il peut valoriser n'importe quelle source de chaleur, comme le biogaz, la biomasse, les déchets, et bien sûr l'énergie solaire où il excelle". Et puis, à l'heure où les particuliers s'adonnent à la cogénération, son silence est d'or... La vengeance est un plat qui se mange froid.

→ *‘dépendance au sentier’, au sens où l’on ne s’écarte pas d’un sentier tracé*”, indique Alain Beltran, historien des techniques (université Paris-I). La domination devient d’autant plus difficile à contester que *“les réglementations se calquent ensuite sur le procédé vainqueur, soulève Robin Cowan. Il se crée alors tout un écosystème technique autour de lui, à l’image du réseau de distribution de carburant pour le moteur à essence.”* Bref: la filière est verrouillée. Quant aux concurrents, ils ne recueillent plus que haussements d’épaules et sourires narquois – on les juge hors du coup. Seules quelques applications, souvent anecdotiques, leur sont concédées: à l’instar du moteur Stirling, cantonné ces dernières années au fonctionnement... d’un sous-marin militaire suédois.

UN “COME-BACK” N’EST PAS IMPOSSIBLE

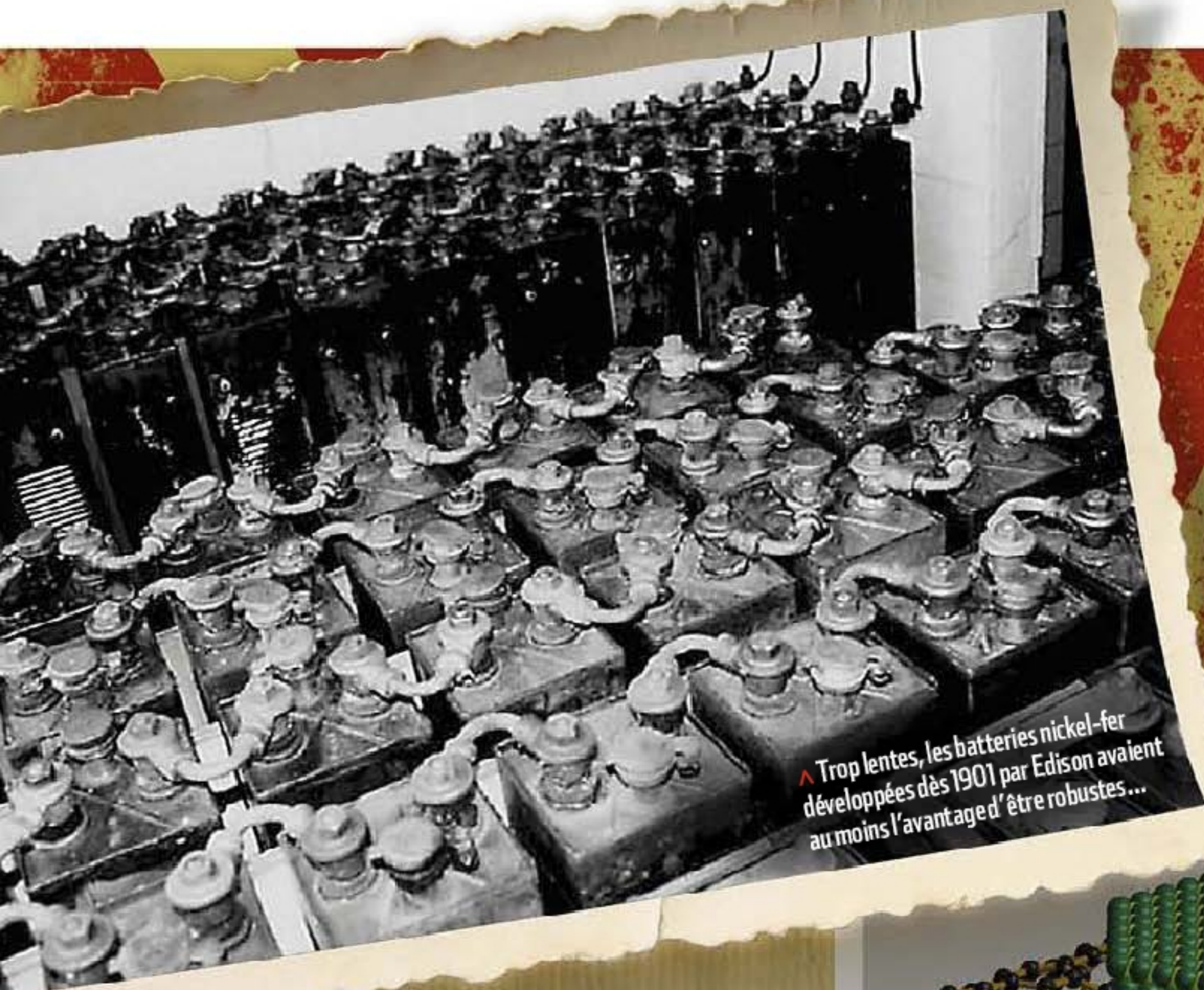
C’est dire si ressusciter ces technologies déchues n’apparaît pas une mince affaire! La tâche semblerait même impossible si elle n’était portée que par quelques quidams nostalgiques sans but ni justification. Tout au contraire, ce sont des scientifiques et des industriels ayant pignon sur rue qui recherchent dans ces vieux concepts des solutions d’avenir. Parce que les préoccupations environnementales créent de nouveaux besoins (voir encadré ci-dessous). Parce que *“de nombreuses lignées techniques établies touchent aujourd’hui à leurs limites, c’est-à-dire*

que l’amélioration de leurs rendements est devenue bien plus difficile et coûteuse”, observe Vincent Bontems. Et puis aussi, parce que les progrès (nouveaux matériaux, procédés de fabrication, maîtrise des phénomènes...) promettent de régler sur ces “antiquités” certains défauts techniques jugés rédhibitoires à l’époque. *“Le ‘come-back’ d’une technologie n’est pas impossible, soutient Robin Cowan. Plusieurs cas de figure pourraient le déclencher, comme l’impasse technique de la technologie dominante, un changement de goût du public, l’instauration de nouvelles normes, un marché de niche qui prendrait soudain de l’ampleur ou encore un résultat scientifique majeur.”* Selon Vincent Bontems, *“au regard de la théorie de l’évolution des techniques, il n’est pas exclu qu’une lignée rejetée il y a un siècle, évoluant très lentement, croise puis dépasse celle qui avait été très vite adoptée”*. Songez à la voiture électrique, qui signe depuis quelques années son grand retour – certes, semé d’embûches – après avoir été inventée en... 1834 et avoir rivalisé avec la voiture à essence jusqu’au tout début du XX^e siècle!

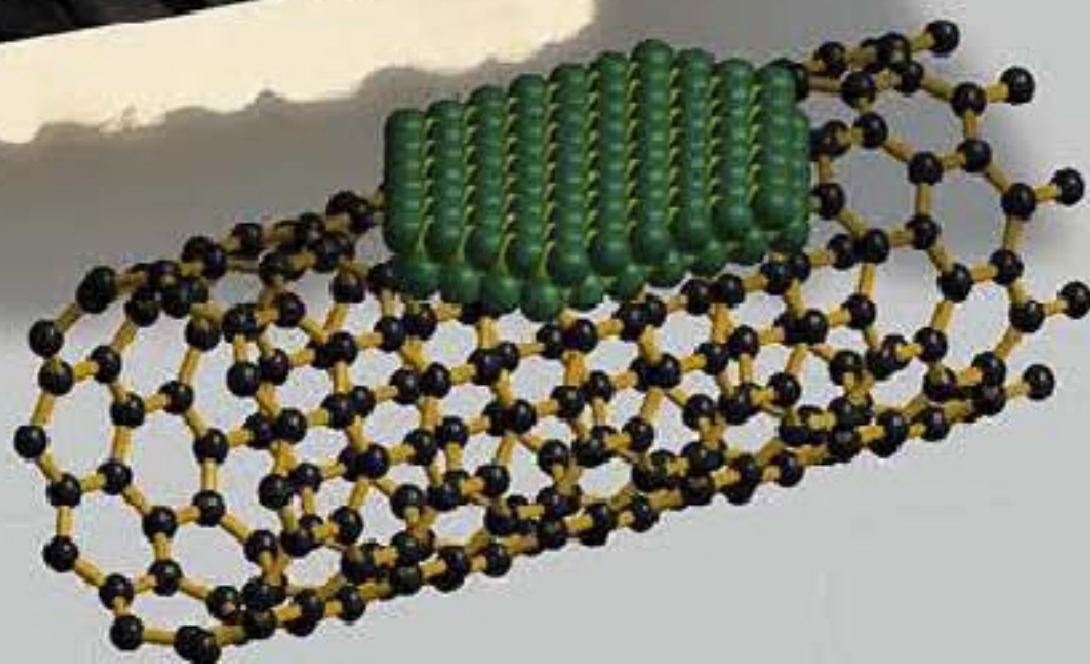
Même s’ils n’imaginent pas tout révolutionner, les scientifiques cherchent actuellement à exhumer six vieilles recettes: le moteur Stirling, la batterie nickel-fer d’Edison, le maser, le courant continu, le tube à vide et l’ordinateur analogique. Six grands vaincus pour qui l’heure de la revanche a peut-être sonné...

RETOUR GAGNANT POUR LES TECHNOLOGIES “VERTES”

La course aux énergies nouvelles a déjà largement puisé dans des technologies anciennes. Ainsi, l’éolienne ne manque pas d’évoquer le moulin à vent médiéval; la filiation est évidente entre les moulins à marée, établis dès l’Antiquité, et les hydroliennes; tandis que *“le four solaire, exploité pour produire de l’électricité, n’a guère varié depuis Archimède”*, confirme André Guillaume, historien des techniques au Conservatoire national des arts et métiers. Après tout, *“le nombre de principes physiques disponibles n’est pas infini”*, argumente l’historien Alain Beltran (université Paris-I). Ces principes ressuscités ont, certes, des avantages évidents... mais leurs inconvénients fondamentaux n’ont pas pour autant disparu! *“L’éolienne a conservé du moulin à vent l’intermittence et la faible densité d’énergie”*, soupire Alain Beltran. Autre exemple, celui de la voiture électrique qui, inventée en 1834, fut évincée par la voiture à essence vers 1905. En cause? Non pas un manque de vitesse – la première voiture à franchir les 100 km/h fonctionnait à l’électricité – mais le sempiternel problème d’autonomie des batteries, qui *“lui fut fatal lorsque les trajets en voiture ont commencé à s’allonger”*, commente Alain Beltran. Autant d’obstacles que les progrès techniques promettent désormais d’aplanir...



^ Trop lentes, les batteries nickel-fer développées dès 1901 par Edison avaient au moins l'avantage d'être robustes...

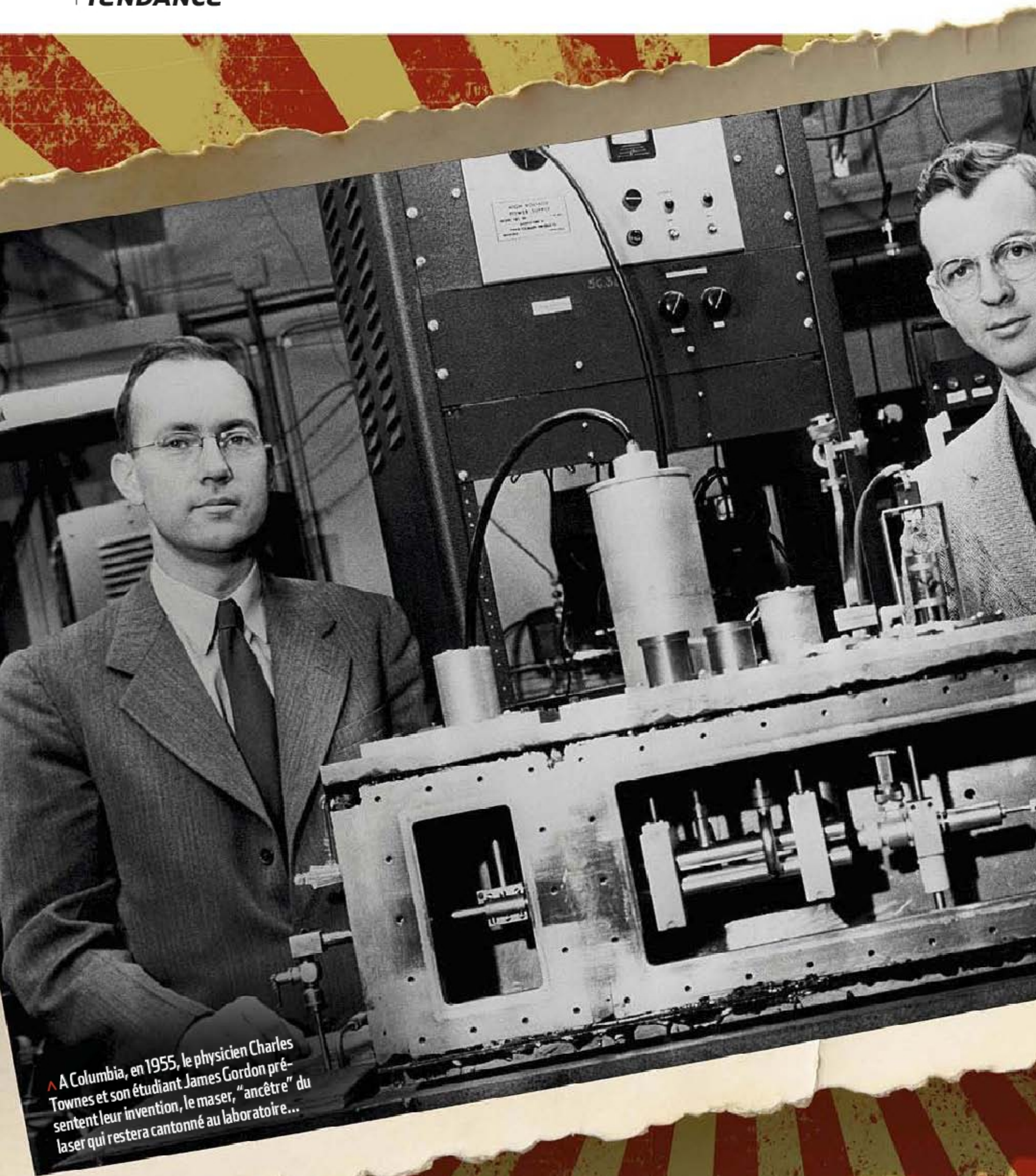


ÉLECTROCHIMIE

LA REVANCHE... DE LA BATTERIE NICKEL-FER D'EDISON

Trop lente ! Voilà la sentence qui s'abattit sur la batterie nickel-fer d'Edison dans les années 1970, alors que les ingénieurs cherchaient à produire du courant et à stocker de l'énergie. Cette technologie avait pourtant fait ses preuves en termes de robustesse et de capacité de stockage. Depuis sa mise au point dans les années 1900, elle avait servi, notamment, à alimenter les premières voitures électriques. Mais dès que des modèles concurrents, comme la batterie lithium-ion, firent leur apparition, le nickel-fer fut marginalisé. Or, un coup de chance pourrait le réhabiliter ! En travaillant sur le matériau nickel, des chercheurs de l'université Stanford ont en effet découvert par hasard une nouvelle structure, enfin performante. En faisant croître des nanocristaux d'oxyde de fer sur du graphène et de l'hydroxyde de nickel sur des nanotubes de carbone, ils ont obtenu une batterie mettant deux minutes à se recharger et moins de trente secondes à se décharger. *"Si la recherche se poursuit, cette batterie a toutes les chances de se développer dans les prochaines voitures électriques, annonce Hongjie Dai, membre de l'équipe. Elle pourra alors venir en secours de la batterie lithium-ion et apporter un surplus d'énergie, notamment dans les phases d'accélération rapide."* Une manière d'essayer l'affront qui lui a été fait il y a 40 ans...

^ En modifiant la structure du nickel, une équipe de l'université Stanford a considérablement amélioré leurs performances.



▲ A Columbia, en 1955, le physicien Charles Townes et son étudiant James Gordon présentent leur invention, le maser, "ancêtre" du laser qui restera cantonné au laboratoire...



OPTIQUE

LA REVANCHE... DU MASER

Quand le maser a fait son apparition en 1953, les chercheurs lui prédisaient un avenir absolument radieux dans le domaine de la transmission du signal. Le maser ? Oui, l'acronyme de *Microwave amplification by stimulated emission of radiation*, soit un outil émettant un faisceau de micro-ondes. Petit détail, et non des moindres : pour fonctionner, cette technologie nécessitait une température frôlant les -250°C ! Ce qui se conçoit mal en dehors d'un laboratoire... Dès lors, quand sept ans plus tard un cousin – le laser – débarqua avec le même principe mais en émettant, lui, un faisceau de lumière à température ambiante, ce qui devait arriver arriva : le maser passa à la trappe. *“Dès le début des années 1970, la plupart des chercheurs ont*

arrêté de travailler sur le maser, dorénavant relégué à des applications restrictives comme les horloges atomiques”, regrette Mark Oxborrow, chercheur au National Physical Laboratory (Angleterre). Pendant ce temps, le laser poursuivait son envol jusqu'à toucher le grand public (CD, DVD...). Pourtant, le maser n'a pas dit son dernier mot. En juin dernier, l'équipe de Mark Oxborrow a réussi à fabriquer un nouveau maser qui fonctionne, cette fois, à la température de 20°C . Son secret : il s'appuie sur un cristal de p-terphényle couplé à un laser. Fort de cette découverte, le chercheur imagine déjà des applications pour amplifier les signaux spatiaux des radiotélescopes ou fabriquer des appareils d'imagerie médicale ultra-performants. Bref, le maser revient à la vie.

> A l'aide d'un cristal de p-terphényle, des chercheurs anglais sont enfin parvenus à rendre le maser exploitable à température ambiante.



ÉLECTRICITÉ

LA REVANCHE... DU COURANT CONTINU

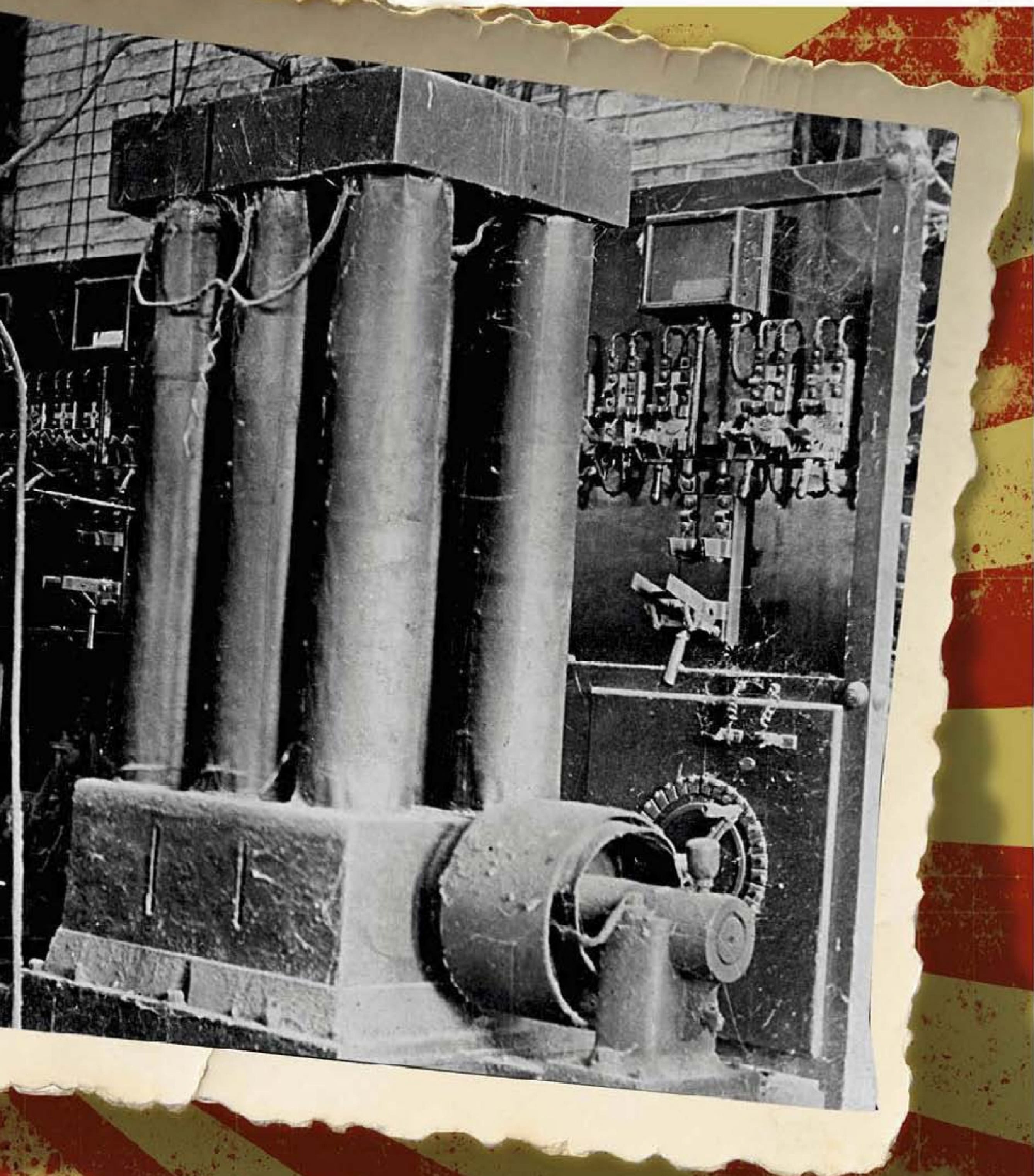
Les historiens ont baptisé cet épisode "la guerre des courants". Dès les années 1880, cette bataille électrique opposa le courant continu (DC), défendu par Edison, à notre courant alternatif (AC) – les fameux 50 Hz. Autant dire, deux conceptions de l'électricité: quand le premier mise sur un flot d'électrons unidirectionnel, le second leur fait changer de sens plusieurs fois par seconde. Or, "le courant alternatif bénéficia d'un fabuleux coup de pouce: l'invention du transformateur, qui lui permet de faire la transition entre la basse tension des foyers et la haute tension nécessaire au transport longue distance", résume Peter Menke, de Siemens. Quand, faute de matériel équivalent, "le courant continu ne franchissait que de faibles distances, imposant une centrale dans chaque quartier", expose Sébastien Lepy, de Réseau de transport d'électricité (RTE). Résultat: le courant continu fut cantonné à des applications très locales. Mais depuis, la situation s'est inversée: ses problèmes de transport ont été résolus par l'électronique, tandis que l'extension tentaculaire des réseaux élec-

triques a mis en évidence les limites fondamentales de l'AC. "Seul le courant continu permet de relier des réseaux nationaux de fréquence différente, indique Jean Nakache, d'Alstom. Il est aussi indispensable pour assurer des liaisons sous-marines, les allers-retours de l'alternatif supportant mal le transport dans de tels câbles." Mieux: depuis environ une décennie, le courant continu s'impose pour les lignes aériennes longue distance (plus de 700 km) qui acheminent l'énergie des grands barrages vers les mégapoles chinoises, brésiliennes ou indiennes. En effet, "celui-ci ne connaît pas les pertes propres à l'alternatif, liées au déphasage entre intensité du courant et tension", explique Jean Nakache. A tel point que l'Allemagne, alimentée par ses éoliennes en mer du Nord, envisage de convertir une partie de ses grandes artères électriques en DC. Avant une conversion totale? L'idée est dans l'air. Même si, tempère Sébastien Lepy, "on ne sait pas encore concevoir et piloter un réseau de courant continu". La guerre des courants est donc loin d'être terminée.



^ Faute de matériel adéquat, le courant continu (ici, l'un des premiers générateurs dans l'Ontario, en 1883) fut évincé par le courant alternatif...

< Grâce à ses pertes minimales, il s'impose maintenant dans les liaisons longue distance qui acheminent l'énergie des grands barrages, des éoliennes et des centrales solaires.



ÉLECTRONIQUE

LA REVANCHE... DU TUBE A VIDE

Cela semblait pourtant bien parti. Le concept de ce composant électrique aux allures d'ampoule dans lequel un fil de métal chauffé envoie un flot d'électrons a été posé dès 1904 et, durant des décennies, a régné sans partage, donnant naissance aux premiers ordinateurs, équipant récepteurs radio et télévisions. *"Le tube à vide a été, durant la première moitié du XX^e siècle, le seul moyen d'amplifier et moduler un courant électrique"*, précise Christian

Rumelhard, du Conservatoire national des arts et métiers. Puis vint le transistor, modelé dans des matériaux semi-

conducteurs et capable, lui aussi, de contrôler un courant électrique. Malgré une puissance et une rapidité supérieures, le bon vieux tube fut aussitôt distancé à cause de son incapacité à se miniaturiser. Tandis que le transistor donnait naissance à l'informatique moderne, le tube se voyait relégué à des applications de niche, comme l'amplification du courant dans les fours à micro-ondes. Mais la roue a tourné! Meyya Meyyappan, physicien à la Nasa, a fabriqué un tube d'une centaine de nanomètres seulement, grâce aux méthodes de gravure mises au point pour... les transistors. Ce premier prototype est dix fois plus rapide que les transistors. Et son inventeur rêve déjà de le voir booster la puissance de calcul des ordinateurs.

▲ Un siècle après son invention, le tube à vide est enfin passé à l'échelle du nanomètre, grâce aux méthodes de gravure modernes.

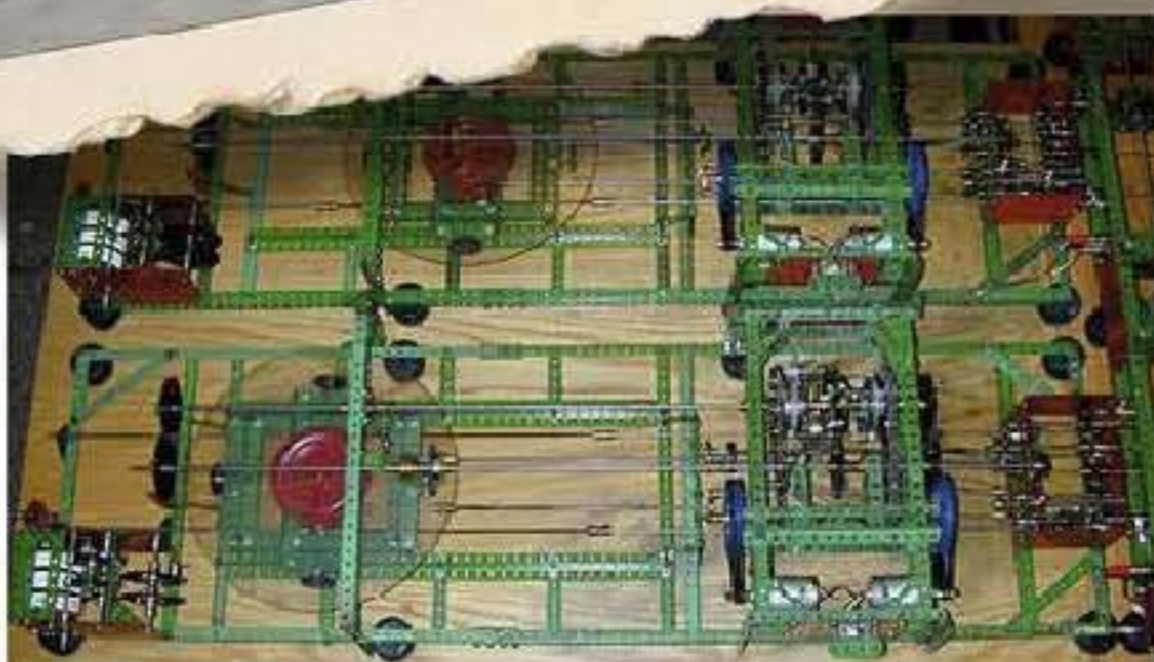
> Ces deux gros tubes à vide (ici, en 1932) ont donné naissance aux premiers calculateurs, avant la mise au point du transistor...





▲ Avant d'être détrôné par le numérique, l'ordinateur analogique fut notamment utilisé par l'Agence aérospatiale américaine...

La promesse d'une puissance de calcul dopée suscite un nouvel intérêt pour l'analogique (ici, la maquette en Meccano d'un calculateur moderne).



INFORMATIQUE


LA REVANCHE... DE L'ORDINATEUR ANALOGIQUE

La vie n'a pas été tendre avec l'ordinateur analogique: dès les années 1940, les scientifiques commençaient à le dédaigner pour se jeter à corps perdu dans le numérique. L'analogique? Une manière de traiter le signal de manière continue et non en le découpant en tranches

pour former les fameux bits de 0 ou 1. Or, ce dernier mode de traitement, numérique, avait été encouragé à l'époque par l'arrivée du transistor et quelques résultats théoriques favorables... Résultats qui, aujourd'hui, sont battus en brèche! Depuis 2005, il a été prouvé qu'un système analogique aurait une capacité de calcul comparable à celle de son équivalent numérique, et aussi qu'un tel ordinateur pourrait être construit.

Mais ce n'est pas tout: l'analogique promet en outre de calculer mieux et plus vite. C'est que ce mode de calcul, plus "naturel" que le numérique, permet d'établir un lien entre les mathématiques et les phénomènes physiques sous-jacents. Une aubaine à l'heure où les scientifiques envisagent de transformer les molécules en unités de calcul au sein de nano-ordinateurs. Quitte à s'associer à des machines numériques... Sans rancune.

L'ÉNIGME DE LA COURONNE ENFIN RÉSOLUE



La question paraît toute simple, mais n'en défie pas moins les astrophysiciens depuis plus de cent ans : pourquoi l'atmosphère du Soleil est-elle plus chaude que sa surface ? Les clichés rapportés par les télescopes offrent enfin un scénario crédible. Au cœur de l'énigme : trois phénomènes astrophysiques totalement inconnus...

SOLAIRE

PAR MATHILDE FONTEZ

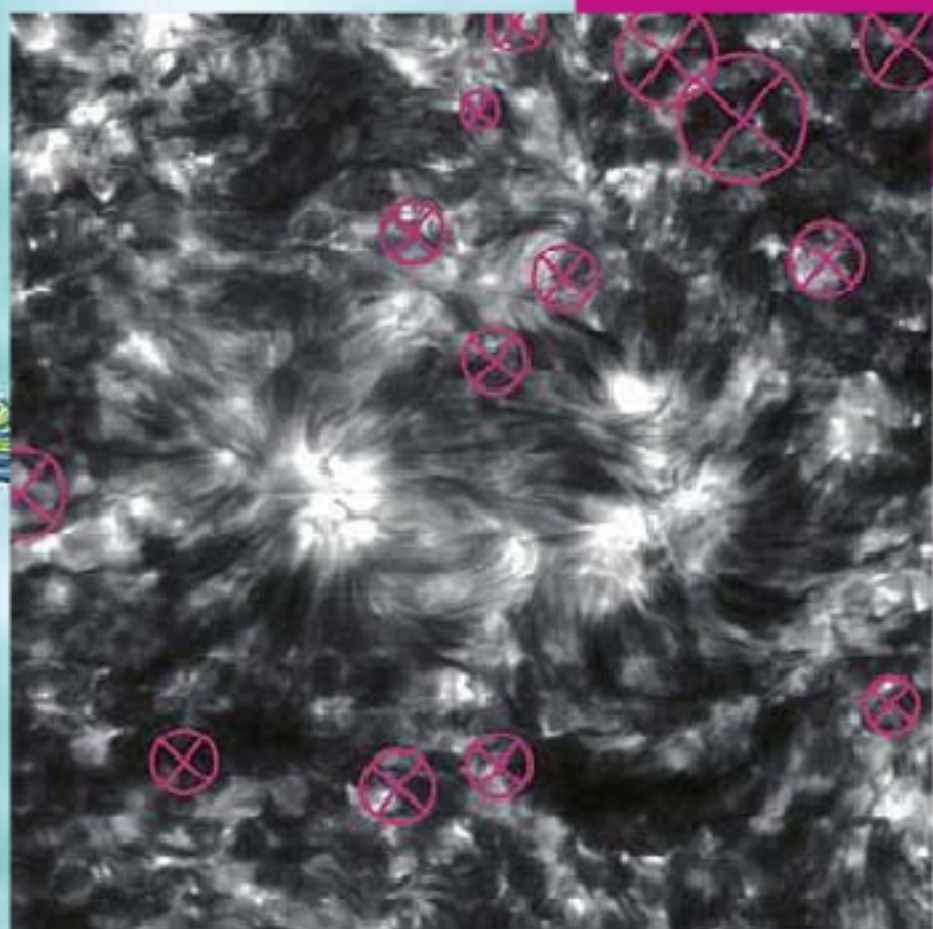
C'est en 2009 que la traque a commencé. Etudiant les dernières images du Soleil captées par le Swedish Solar Telescope (SST) de La Palma, installé aux îles Canaries, des astronomes norvégiens tiquent: une ombre gigantesque, un mystérieux disque de plus d'un millier de kilomètres de diamètre, apparaît à la surface du Soleil, au milieu du bouillonnement des gaz ionisés, avant de disparaître quelques minutes plus tard... Jamais aucun télescope n'avait capté un tel motif. De quoi s'agit-il? Armés d'un supercalculateur, les chercheurs tentent en vain d'identifier le phénomène à coups d'équations... Jusqu'à ce qu'enfin, il y a quelques mois, sa silhouette se matérialise à nouveau en trois dimensions sous l'œil du télescope spatial de la Nasa, *Solar Dynamic Observatory (SDO)*.

Voir cette créature à l'œuvre est impressionnant: en un instant, elle enroule de gigantesques lignes de champ magnétique à l'origine d'un tourbillon inextricable. A sa base, des flots de gaz ionisés irrésistiblement attirés par cette toile magnétique s'arrachent de la surface du Soleil et tournoient jusqu'à atteindre 10000 km/h. En quelques dizaines de seconde, le monstre atteint le faîte de sa splendeur: une tornade de plusieurs milliers de kilomètres de hauteur dont la bouche vorace, de la

TROIS PHÉNOMÈNES
RÉSOLVENT L'ÉNIGME

Des tornades magnétiques brassent les plasmas solaires

Pourquoi l'atmosphère du Soleil est-elle aussi brûlante? D'après les simulations, de gigantesques tornades de quelque 3000 km seraient capables, à elles seules, de résoudre l'énigme. 10000 de ces monstres magnétiques évolueraient en permanence dans l'atmosphère du Soleil, y déversant des flots de plasma chauffé à plus d'un million de degrés.



taille d'un continent terrestre, engloutit des centaines de milliards de kilomètres cubes de gaz chauffés à plus d'un million de degrés. Puis, au bout de quelques minutes... plus rien. La créature s'évanouit brusquement. Ses vortex magnétiques se déroulent. Sa chaleur se disperse dans l'atmosphère solaire. Et de ce monstre éphémère, de cette tornade colossale, il ne reste qu'un halo de chaleur diffus.

D'IRRÉSISTIBLES VRILLES DE CHAMP MAGNÉTIQUE...

Les astronomes tiennent peut-être là la pièce majeure d'un puzzle astronomique qu'ils échouent à assembler depuis plus de cent ans. Un puzzle en forme de question toute bête: pourquoi la couronne solaire, cette atmosphère de gaz ionisés qui cerne le Soleil, est-elle aussi brûlante, au lieu d'être aussi froide que l'espace ou, au moins, d'une température semblable à celle du Soleil lui-même, soit quelques milliers de degrés?

Depuis 1869 en effet, les mesures sont formelles: la couronne solaire, ce halo éthéré qui se matérialise autour de notre étoile lors des éclipses, atteint plusieurs millions de degrés... alors même que la température à sa surface n'est "que" de

5 600 °C. *"Toute l'énergie du Soleil provient des réactions nucléaires qui se déroulent dans son centre, explique Eric Buchlin, de l'Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay (IAS). Ce sont elles qui alimentent en chaleur les différentes couches internes..."* Ainsi, on observe que la température de l'étoile baisse continûment à mesure que l'on s'éloigne de son cœur et que la densité du plasma diminue: on passe progressivement d'une pâte visqueuse chauffée à 12 millions de degrés au centre du Soleil à un fluide léger à 5 600 °C, 700 000 km plus loin. Le plasma devient alors transparent et prend la forme d'un léger gaz d'hydrogène et d'hélium. Nous sommes à la surface de l'étoile... et au cœur de l'énigme: la température devrait continuer de baisser jusqu'à atteindre les -200 °C qui règnent dans le vide de l'espace. Or, c'est tout le contraire qui se produit: elle augmente brusquement, de plus d'un million de degrés en quelques centaines de kilomètres! Comment la chaleur, qui ne peut provenir que du centre du Soleil, peut-elle devenir si intense dans son atmosphère? Par quels mystérieux mécanismes l'énergie peut-elle être canalisée pour gagner la couronne? →

RETOUR SUR IMAGE



Une énigme née d'une éclipse

En analysant la lumière émise par la couronne solaire durant l'éclipse de 1868, les astronomes William Harkness et Charles Young ont découvert un mystérieux rayon d'une longueur d'onde de 530,3 nanomètres. Dix ans plus tard, les théoriciens Walter Grotrian et Bengt Edlén avançaient qu'il était émis par des atomes de fer soumis à... 2 millions de degrés. Or, la surface du Soleil n'est "que" de 5 600 degrés!

6 000 km

TROIS PHÉNOMÈNES
RÉSOLVENT L'ÉNIGME

Des courants de gaz brûlants remontent des profondeurs

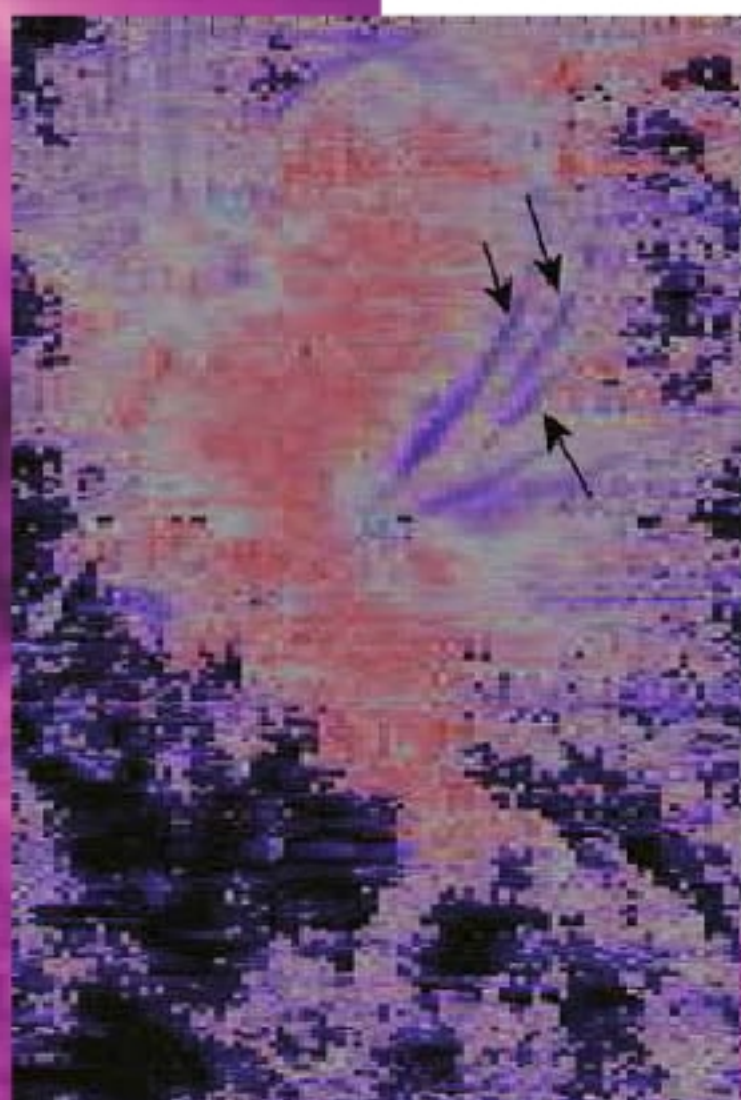
La surface du Soleil s'évapore ! Au pied des gigantesques éruptions de plasma qui ne cessent d'agiter la surface solaire, des courants de gaz de 1000 km et de quelques centaines de milliers de degrés remontent à 100 km/h. Ils diffusent leur chaleur sur des milliers de kilomètres le long des lignes du champ magnétique des éruptions.

→ Depuis des décennies, le problème occupe à lui seul la majorité des spécialistes. *"C'est même l'une des grandes questions de l'astrophysique, ajoute Guillaume Aulanier, de l'Observatoire de Paris. Car derrière cette énigme se cache une multitude de questions : pour quoi dans certains endroits, le milieu interstellaire est-il très chaud ? Comment les champs magnétiques contrôlent-ils les*

explosions d'étoiles ? Et, plus fondamental, comment chauffe un plasma ?"

Depuis cent ans, les hypothèses se sont succédé. Les astronomes ont d'abord pensé à des ondes acoustiques qui guideraient le plasma de gaz ionisés et lui permettraient de gagner la couronne et de la chauffer. Las, les ondes sonores sont incapables de franchir la zone de transition qui sépare la surface solaire de

son atmosphère. *"On s'est aperçu qu'à cause de la grande variation de température de cette zone, les ondes sonores y sont déviées comme si elles changeaient de milieu", détaille Eric Buchlin. Puis, dans les années 1970, s'est imposée l'idée que le vecteur d'énergie devait être le puissant champ magnétique régnant à la surface du Soleil. "Le magnétisme et l'électricité sont liés : les particules chargées*



25 000 km

d'un plasma ont tendance à suivre irrésistiblement les lignes de champ magnétique, détaille Sébastien Galtier, qui modélise le chauffage de la couronne à l'IAS. Il était logique de penser que le champ magnétique solaire, que l'on savait très intense, dominait toute la dynamique de la matière... et donc qu'il pouvait commander le transfert d'énergie sous la forme de particules chargées."

FAITS & CHIFFRES

2000 articles scientifiques toutes sources confondues, dont **805** articles référencés, ont été publiés ces **20** dernières années au sujet de l'énigme de la couronne solaire. Ce sujet qui concerne la grande majorité des astrophysiciens spécialistes du Soleil occupe à plein temps quelque **2000** chercheurs dans le monde.

Restait à valider l'hypothèse en découvrant les mécanismes magnétiques qui régissent le transfert d'énergie. Pour cela, il fallait des mesures... Or, justement, depuis une vingtaine d'années, le Soleil est la cible d'une multitude de télescopes. *"Cela a commencé à la fin des années 1990 avec le télescope spatial SOHO,* relate Guillaume Aulanier. *Avec ses images, on est passé d'une vision linéaire à une vue en trois dimensions. Pour la première fois, nous pouvions détailler les mouvements des plasmas en profondeur.*" Ont suivi STEREO, SORCE, RHESSI, Koronas, Hinode, SDO... Une dizaine de sondes se sont envolées vers des orbites héliocentriques, tandis qu'au sol, une trentaine

l'existence d'oscillations magnétiques: des ondes dites d'Alfvén, capables de traverser la zone de transition et de guider les particules chargées vers l'atmosphère solaire. En 2011, une équipe américaine découvre qu'à la surface, le champ magnétique peut former des tubes qui déversent en permanence des gaz brûlants dans la couronne solaire... A peine chaque nouveau mécanisme découvert, les astrophysiciens s'empressent de faire tourner des modèles et de dresser des bilans d'énergies dans l'espoir que leur créature magnétique soit assez puissante pour transporter toute l'énergie nécessaire au chauffage de la couronne. *"Certains de ces phénomènes y parviennent*

"NOUS NOUS SOMMES REPASSÉ LES IMAGES PENDANT DES JOURS AVANT D'Y CROIRE..."

de télescopes pointaient leur détecteur sur l'étoile, à l'affût du moindre tourbillon de son plasma, des plus infimes vrilles de son champ magnétique. *"C'est une période très excitante pour la physique solaire, s'enthousiasme Durgesh Tripathi, spécialiste du Soleil à l'université de Cambridge. Nous vivons un âge d'or de l'observation!"*

Il fallait s'y attendre, cette armada n'a pas tardé à produire un déluge de données, des téraoctets de mesures sur lesquelles se sont précipités les spécialistes dans l'espoir de résoudre la fameuse énigme. Et les pièces du puzzle se sont peu à peu amoncelées. En 2002, on capte le signal de cascades de boucles magnétiques près des éruptions solaires qui semblent propager de l'énergie de proche en proche. En 2007, on découvre

sur le papier, précise Sébastien Galtier. *Mais même leurs découvreurs doutent qu'elles suffisent en pratique..."*

... NOURRISSENT DE FORMIDABLES CRÉATURES

Or, ces derniers mois, trois équipes différentes ont chacune déniché une nouvelle créature astrophysique qui semble enfin résoudre l'énigme. Le premier de ces monstres est impressionnant... par sa petitesse: il s'agit de filaments de matière de seulement 100 km de diamètre qui injectent en permanence des gaz chauds à la base de l'atmosphère solaire. *"Quand nous les avons découverts, nous n'en sommes pas revenus! Ils sont à la limite de la résolution du télescope. Nous nous sommes repassé les images pendant des jours avant d'y croire..."*, →

→ relate Haisheng Ji, astrophysicien au Purple Mountain Observatory (PMO), en Chine, où sont dirigées les recherches. La surprise passée, les chercheurs ont étudié les mécanismes du phénomène et, d'après eux, ces filaments naîtraient de petites boucles de champ magnétique qui se forment à la surface du Soleil à cause des inhomogénéités de son plasma.

La deuxième étude met en évidence un phénomène similaire, mais à plus grande échelle et dans des régions particulières, agitées d'éruptions. Scrutant la base de l'une de ces éruptions solaires, des chercheurs de l'université de Cambridge ont discerné, grâce à *Hinode*, des courants de plasma qui s'élèvent à 100 km/h dans la couronne. *"Nous travaillons sur les données, avance prudemment Durgesh Tripathi, qui a participé à l'observation. Mais si notre interprétation est exacte, c'est comme si on voyait la surface du Soleil en train de s'évaporer!"* Enfin, plus massif encore, le fameux monstre de l'équipe norvégienne, ces gigantesques tornades qui brassent le plasma solaire et transfèrent son énergie partout dans la couronne. *"Nous avons d'abord vu des disques de plasma en rotation*

LES PROCESSUS ÉTANT À PRÉSENT IDENTIFIÉS, RESTE À LES ORDONNER

juste au-dessus de la surface, raconte Eamon Scullion, l'un des découvreurs, à l'université d'Oslo. Mais nous ne savions pas vraiment ce que nous regardions. Il a fallu attendre le résultat de simulations numériques et de nouvelles observations pour relier ces phénomènes de surface à des tourbillons

TROIS PHÉNOMÈNES
RÉSOLVENT L'ÉNIGME

Des filaments magnétiques injectent en permanence des gaz à la base de la couronne

Il s'en est fallu d'un cheveu pour qu'ils demeurent cachés, au-dessous de la résolution des télescopes : de "minuscules" filaments de plasma de 100 km de diamètre naissent des boucles magnétiques à la surface du Soleil. Ils réchaufferaient en permanence les basses couches de l'atmosphère solaire.

6 000 km

en altitude." Les chercheurs ont ainsi détaillé 14 tornades et calculé l'énergie qu'elles transmettent à la couronne. *"C'est ce qui est le plus extraordinaire, s'enflamme Sven Wedemeyer, directeur des recherches. Nos simulations nous disent qu'il y a en permanence 10000 tornades à la surface du Soleil, qui transportent à elles seules assez d'énergie pour expliquer complètement le chauffage de la couronne!"*

Une à une, les pièces du puzzle s'emboîtent donc, révélant la solution de l'énigme. Certes, la majorité des chercheurs doute qu'un seul phénomène, quand bien même il s'agirait de monstrueuses tornades, soit à lui seul responsable du chauffage de la couronne solaire, mais tous s'accordent sur un point : la totalité des mécanismes de transfert découverts ces dix dernières années leur offre plus d'énergie

qu'il ne leur en faut pour expliquer l'incroyable chaleur qui règne dans l'atmosphère solaire.

L'heure est au bilan. Et à un premier schéma explicatif général. En ce qui concerne la source d'énergie, tout commencerait dans les mouvements turbulents des plasmas, juste au-dessous de la surface. La source d'énergie localisée, son vecteur a également été identifié : il s'agirait du champ magnétique solaire. Il ouvre, au gré de ses circonvolutions, des canaux à toutes les échelles par lesquels se déverse le plasma. Enfin, les mécanismes magnétiques sont en train de trouver leur place : les enroulements de champ magnétique qui déclenchent les tornades pourraient être responsables de la formation de minuscules filaments à la base de l'atmosphère qui, eux-mêmes, donneraient naissance à des courants

LE SOLEIL CACHE UN AUTRE SECRET

Comment le Soleil parvient-il à accélérer à ce point la vitesse de son vent ? Les mesures montrent que ce flot de particules, qui se détache en permanence de l'atmosphère solaire, se disperse dans l'espace à 4 millions de km/h... alors que, selon les modèles, il ne devrait pas dépasser quelques

centaines de milliers de km/h ! Les astrophysiciens soupçonnent encore une fois le champ magnétique de jouer un rôle prépondérant, mais ils échouent à distinguer le mécanisme à l'œuvre... La sonde *Solar Orbiter* de l'ESA qui observera les pôles

de l'étoile, où le vent est le plus intense, à partir de 2018 pourrait apporter des éléments de réponse. "C'est le sujet qui va nous occuper dans les vingt prochaines années", prédit Sébastien Galtier, de l'Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay.



ascendants... "On ne sait pas encore quel processus domine : les premières études de synthèse visant à faire le tri entre ces différents mécanismes et à les assembler pour raconter l'histoire au complet commencent seulement à être menées, prévient Guillaume Aulanier. Mais oui ! Le fond de la physique est là : on a une bonne idée de comment les choses se passent."

OÙ PART ENSUITE L'ÉNERGIE ?

Reste une grande inconnue : comment l'énergie se dissipe-t-elle ensuite dans l'atmosphère solaire ? "C'est la question qui reste", confirme Eric Buchlin. Pour l'heure, deux types de

phénomènes ont été identifiés. Soit l'énergie est libérée lorsque les lignes de champ magnétique, à force d'être vrillées, se rompent brutalement, avant de s'allier de nouveau sous une forme plus stable : cette "reconnexion magnétique" a été observée en laboratoire dès 1997. Soit elle serait due à des phénomènes de turbulence à petite échelle : les collisions entre les ondes magnétiques pourraient agiter les particules du plasma qui les entoure, transmettant ainsi leur énergie, un peu comme le courant électrique qui traverse une ampoule halogène stimule les particules de gaz qu'elle contient. Et ces mécanismes

pourraient cohabiter : "Les modèles semblent indiquer que dans les régions calmes du Soleil, la reconnexion magnétique domine ; et dans les régions actives, la turbulence à petite échelle prend le relais", précise Guillaume Aulanier.

Pour trancher cette question, de nouvelles observations sont nécessaires... Or, rien ne dit qu'elles seront un jour à portée de télescope. "Les échelles de ces phénomènes sont de l'ordre de quelques dizaines de mètres, quand la résolution maximale de nos télescopes est de l'ordre d'une centaine de kilomètres, remarque Eric Buchlin. Quelques projets sont bien dans les cartons pour gagner en résolution... mais ils seront encore loin de ce niveau de détail." Sans compter que les difficultés sont aussi théoriques car, à cette échelle, les gaz ionisés se comportent non plus de manière fluide mais comme un ensemble de particules chargées que l'on ne peut décrire sans s'attaquer à la physique non linéaire des plasmas... un sujet qui a épuisé des générations de théoriciens. Si l'énigme de sa couronne est résolue... le roi Soleil n'en garde pas moins une part de mystère. ■

EN
SAVOIR
PLUS**

Des vidéos des tornades solaires sont visibles sur le site : <http://www.nature.com/nature/journal/v486/n7404/full/nature11202.html>

OISEAUX

ILS CACHERAIENT L'ENFANCE PERDUE DES DINOSAURES

Une nouvelle hypothèse explique l'origine des oiseaux par un formidable moteur évolutif: ils auraient conservé la morphologie juvénile de leurs ancêtres les dinosaures!

PAR ÉMILIE RAUSCHER

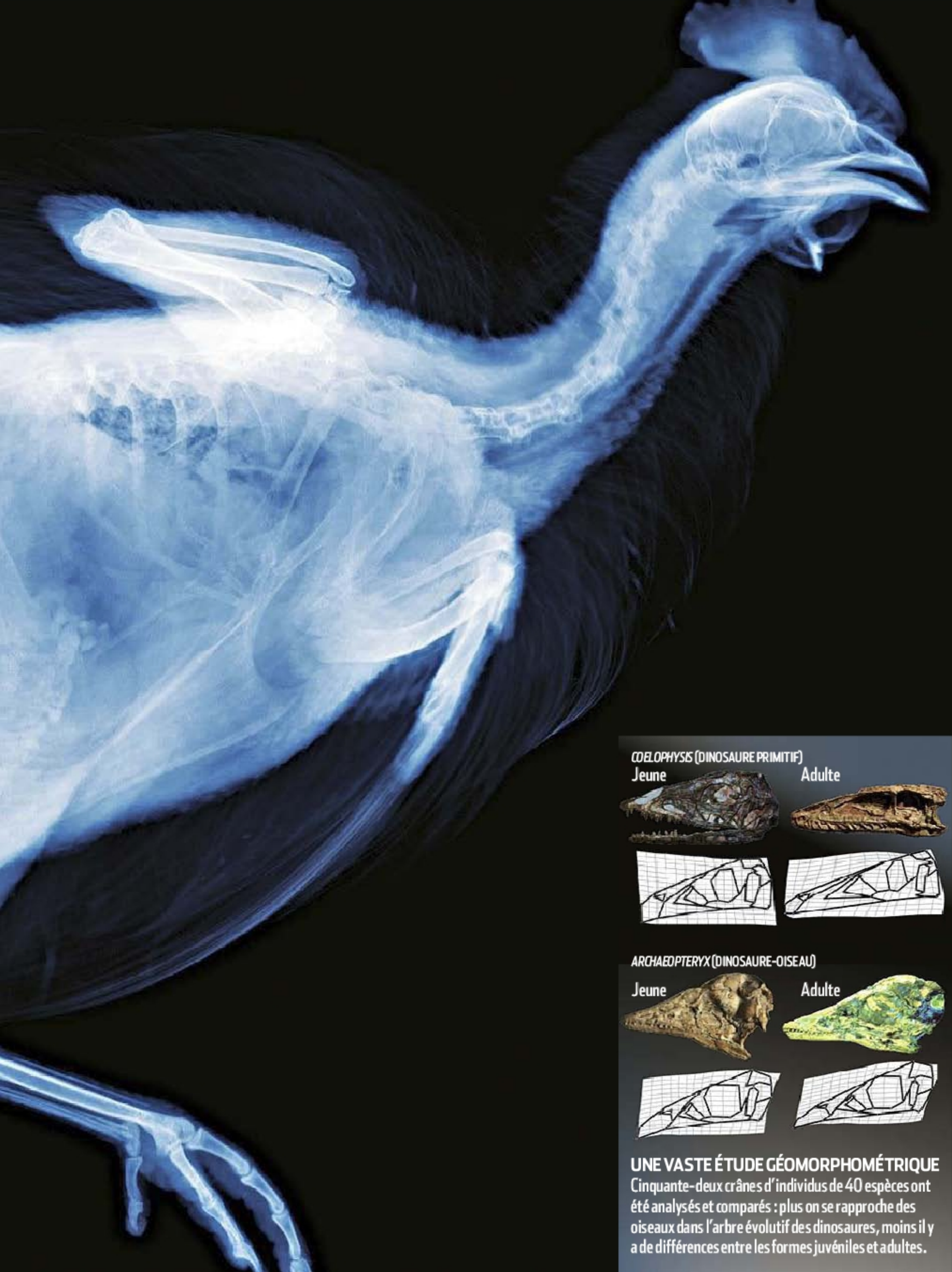
Depuis cent cinquante ans que les preuves paléontologiques s'accumulent, dire que les oiseaux descendent des dinosaures produit toujours son petit effet... Il n'y a qu'à comparer le tyrannosaure (12 m à la toise, 6 t à la pesée) à son lointain petit-neveu le pigeon (40 cm, 600 g) pour s'en rendre compte. Reste que si l'on mesure bien l'énorme chemin parcouru par l'évolution, on sait moins comment celle-ci a pu arriver à un tel résultat. Bien sûr, les généticiens ont mis au jour moult mutations capables de perturber le vaste programme génétique inscrit dans l'ADN de chaque

être vivant: autant de tours de passe-passe capables d'engendrer de nouveaux caractères, mais à l'allure de grands travaux coûteux, réalisés à tâtons. L'évolution dispose toutefois d'un autre moteur, fascinant: le détour par la case "jeunesse". C'est la conclusion de l'équipe d'Arkhat Abzhanov, à Harvard, qui a démontré que les oiseaux sont en définitive... de "simples" bébés dinosaures!

Puissant, rapide, cet autre moteur évolutif ne demande "que" de savoir maîtriser le temps. Pas le temps géologique, où les espèces changent après des millions d'années par mutations successives; non, le temps →

N. VEASEY/GETTY - DPT. ORGANISMIC & EVOLUTIONARY BIOLOGY, HARVARD UNIV.





COELOPHYSIS (DINOSAURE PRIMITIF)

Jeune



Adulte

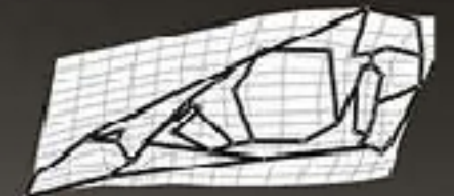


ARCHAEOPTERYX (DINOSAURE-OISEAU)

Jeune



Adulte



UNE VASTE ÉTUDE GÉOMORPHOMÉTRIQUE

Cinquante-deux crânes d'individus de 40 espèces ont été analysés et comparés : plus on se rapproche des oiseaux dans l'arbre évolutif des dinosaures, moins il y a de différences entre les formes juvéniles et adultes.



Quand l'évolution rajeunit les espèces

Chaque flèche représente le développement d'un individu, de sa naissance à l'âge adulte : il naît avec une morphologie juvénile et acquiert des traits adultes. Plus on avance dans l'arbre évolutif, des dinosaures vers les oiseaux, plus le temps de maturation (taille de la flèche) est court et plus l'espèce conserve de caractéristiques juvéniles.

→ "ontogénétique" : celui du développement de l'individu, de sa conception à ses vieux jours. Taille, proportions, formes, organes... tout est bouleversé par cette évolution qui ne dure que le temps d'une vie. Or, au fil des générations, ce temps ontogénétique peut être perturbé – un phénomène connu sous le nom d'"hétérochronie". Dans le cas qui nous intéresse, l'âge adulte a été avancé : c'est ainsi que l'individu adulte conserve une apparence juvénile, et que notre fier pigeon dans la force de l'âge ressemble... à un mignon bébé tyrannosaure – on parle ici de "juvénalisation".

"L'idée que les oiseaux ressemblent aux petits des dinosaures ancestraux avait déjà été lancée, mais elle n'avait jamais eu un grand écho", se rappelle Bhart-Anjan Bhullar, qui travaille avec Arkhat Abzhanov au Laboratoire de biologie évolutive. Pour ces deux spécialistes reconnus, une série de constatations étonnantes est venue changer la donne : le crâne de certains oiseaux, jeunes et surtout adultes, est bel et bien

incroyablement proche de celui des petits des dinosaures – leurs ancêtres –, mais aussi de celui des alligators ! Ces derniers, les plus proches parents encore vivants des oiseaux, peuvent témoigner de la morphologie de leur ancêtre commun. Or, cette superposition quasi parfaite des

AU TRAVERS DES OISEAUX SE LIRAIT DONC L'ÉTERNELLE JEUNESSE DES DINOSAURES

crânes ne peut être le fruit du hasard. "Nous avons donc testé l'hypothèse d'une hétérochronie comme mécanisme à l'origine des oiseaux en scrutant leur lignée évolutive sur plus de 250 millions d'années", raconte Arkhat Abzhanov.

Personne n'avait encore osé se lancer dans une aventure aussi audacieuse. Mais l'équipe d'Abzhanov dispose d'un outil crucial pour ce genre de défi : l'analyse géomorphométrique. Bhart-Anjan Bhullar a d'abord compilé 52 crânes en parfait état de jeunes et d'adultes appartenant à 40 espèces, des dino-

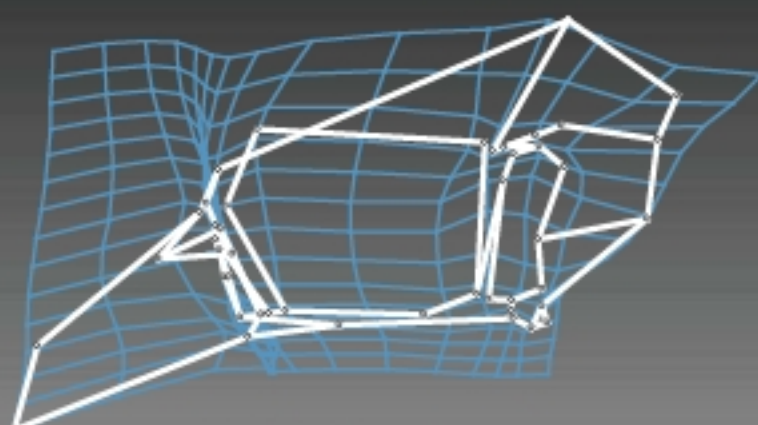
saures primitifs aux oiseaux, dans une base de données. En étudiant leur architecture, il a identifié 45 repères permettant d'en suivre les changements. Puis, une analyse mathématique lui a permis de dessiner un graphe (voir ci-dessus), dont l'axe représente la "juvénalisation" de la morphologie des espèces. Logiquement, si les dinosaures conservaient davantage de traits juvéniles à mesure qu'ils évoluaient vers les oiseaux, on devait les voir se décaler de plus en plus sur cet axe. "C'est lorsque j'ai ajouté Archaeopteryx [longtemps présenté comme le chaînon manquant entre dinosaures et oiseaux] à ma base de données et qu'il s'est parfaitement positionné vis-à-vis de dinosaures plus primitifs que nous avons réalisé que nous tenions vraiment quelque chose !", s'exclame le chercheur.

Rien qu'en se concentrant sur les crânes, l'équipe d'Abzhanov a trouvé la trace de quatre épisodes de transformation qu'elle a pu placer dans l'arbre évolutif des dinosaures. "Les traits les plus concernés sont le museau qui raccourcit, et les yeux et le cerveau qui, eux, s'agrandissent", précise Bhart-Anjan

Groupe des
oiseaux



Le temps de maturation est bien plus court, et les traits juvéniles restent encore plus marqués (plus gros yeux et cerveau...).



MORPHOLOGIE
JUVÉNILE



Bhullar. Des modifications qui ont vraisemblablement contribué à la mise en place d'un système visuel adapté au vol.

Pour le reste du corps, les données sont encore peu nombreuses et semblent contradictoires. *"Mais la première des quatre transformations que nous avons trouvées est associée à une réduction globale de la taille",* constate Arkhat Abzhanov. *"Et cette petite taille s'accompagne d'un temps de maturation plus court",* ajoute son collègue; il tombe à douze semaines pour certains oiseaux, contre plusieurs années pour les dinosaures. Cet allègement a sans doute été un avantage pour voler. Et, surtout, *"c'est probablement ce qui a sauvé les oiseaux lors de la grande extinction: presque tout ce qui pesait plus de 1 kg a alors été balayé de la surface de la Terre",* estime Abzhanov.

AVANTAGÉS POUR SURVIVRE

Dernier constat, tous ces changements semblent se précipiter à mesure qu'on se rapproche de l'émergence des oiseaux... et ce, sans accident évolutif! Comment est-ce possible? Déjà parce que ce phénomène a dû être facile et rapide à mettre

en œuvre: *"Je suspecte qu'il découle d'un mécanisme moléculaire simple, comme la modification de l'action d'une hormone de croissance",* dévoile Bhart-Anjan Bhullar. Autre possibilité: l'expression des gènes dits architectes, comme les gènes Hox, étudiés par Arkhat Abzhanov, qui contrôlent tout le développement embryonnaire, a pu être modifiée. Le biologiste pointe un autre élément clé: *"Si ces changements massifs n'ont pas été préjudiciables, comme le sont généralement les mutations génétiques [lors de l'évolution au sens 'classique'], c'est que les formes juvéniles ancestrales à l'origine de nos oiseaux devaient déjà être optimisées pour la survie!"* Elles n'attendaient que la possibilité de pouvoir exprimer tout leur potentiel caché, un potentiel différent de celui des formes adultes.

Voilà un constat qui renouvelle fondamentalement notre façon de concevoir l'évolution. Pour les dinosaures, cette "jeunesse éternelle" offerte par un dérèglement de leur développement a tout simplement permis l'éclosion d'un des groupes de vertébrés les plus prolifiques, avec plus de 10 000 espèces... ■

ILS RETOMBENT AUSSI EN ENFANCE

Rester jeune pour mieux se diversifier est une technique évolutive més-estimée... à tort. Plusieurs autres cas de "juvénalisation" sont déjà connus. Le chien, par exemple, garde un museau court et continue à aboyer et à remuer la queue, contrairement au loup. La salamandre axolotl conserve son apparence larvaire, blanche et dotée de branchies externes. Et l'homme! Notre visage plat, notre corps quasi glabre aux membres courts, notre gros cerveau ou nos petites dents sont autant de signes de notre immaturité physiologique par rapport à nos aïeux... Ici, la maturité s'acquiert à l'âge normal mais tout le développement a été ralenti, si bien que les traits juvéniles n'ont pas encore disparu (néoténie). A l'inverse, les dinosaures sont devenus oiseaux du fait d'une acquisition précoce de la maturité, quand des traits juvéniles étaient encore présents (progenèse).



ARKHAT ABZHANOV

LABORATOIRE DE BIOLOGIE ÉVOLUTIVE,
UNIVERSITÉ HARVARD (ÉTATS-UNIS)

La petite taille des oiseaux, liée à leur maturité précoce, a favorisé le vol et les a sauvés de l'extinction

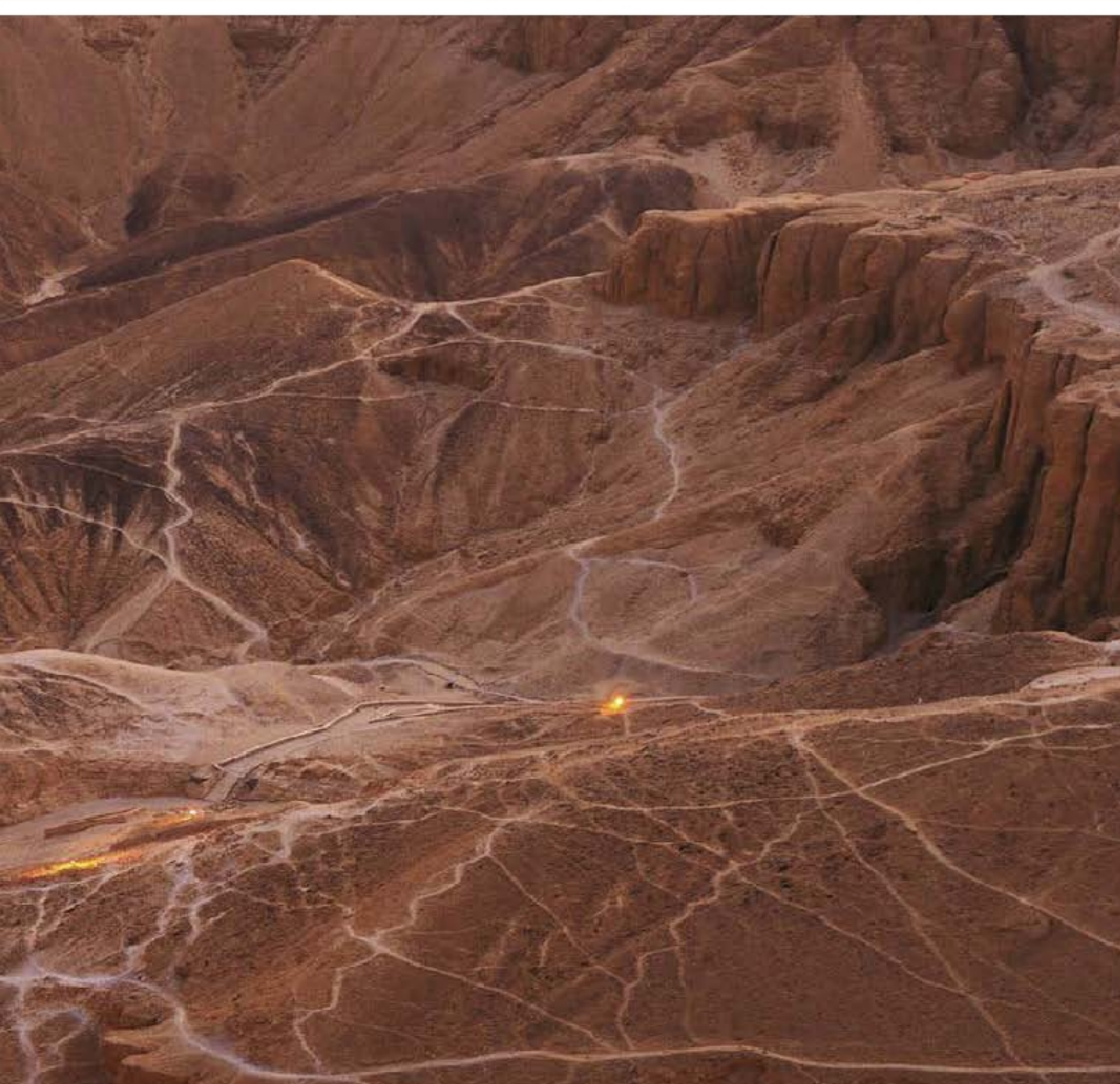
LE POINT SUR...



90 ANS APRÈS LA DÉCOUVERTE DE TOUTANKHAMON

LES NOUVEAUX SECRETS DE LA VALLÉE DES ROIS

PAR EMMANUEL MONNIER



22 NOVEMBRE 1922
"OH OUI, JE VOIS
DES MERVEILLES!"
P. 112

FAITS & CHIFFRES
TOUTANKHAMON :
LA TOMBE DE
TOUTES LES
RICHESSES
P. 114

CARTOGRAPHIE
VALLÉE DES ROIS :
LA GRANDE
NÉCROPOLE DES
PHARAONS
P. 116

PERSPECTIVES
ÉGYPTOLOGIE :
LA CHASSE AUX
TRÉSORS RESTE
OUVERTE
P. 118

JOUR J

FAITS & CHIFFRES

CARTOGRAPHIE

PERSPECTIVES

Après des siècles de fouilles, la Vallée des Rois, jadis largement pillée, semblait devenue stérile. Or, en janvier dernier, des archéologues suisses ont mis au jour une nouvelle tombe ! Et c'est l'espoir d'une découverte aussi exceptionnelle que celle du tombeau de Toutankhamon, en 1922, qui renaît. D'autant que de nouveaux outils pourraient faciliter les recherches...



▲ Le découvreur de la tombe de Toutankhamon, Howard Carter, examine le troisième sarcophage qui contient la momie.

26 NOVEMBRE 1922 "OH OUI, JE VOIS DES MERVEILLES!"

Howard Carter peut crier victoire. Il était persuadé que la tombe de Toutankhamon restait à découvrir; ce jour-là, la chance lui sourit enfin...

"Ce devait être notre dernier automne dans la Vallée, raconte Howard Carter dans ses mémoires. Nous y avons passé six saisons pleines, travaillé des mois d'affilée, sans rien trouver... Nous nous tenions presque pour vaincus et nous préparions à aller tenter notre chance ailleurs..." Mais au matin du 4 novembre 1922, lorsque l'archéologue britannique se rend sur son chantier de fouilles, il y règne un silence inhabituel. Et pour cause : sur le sol débarrassé des gravats, une marche taillée dans le roc dessine l'entrée d'un escalier. Où mène-t-il ? Tout le monde se met aussitôt à creuser. *"Et au crépuscule, alors que nous atteignons la douzième marche, nous aperçûmes la partie supérieure d'une porte scellée, bloquée par des pierres plâtrées."* Il s'agissait bien d'une tombe ! Et pas n'importe quelle tombe : sculptés dans la pierre, les sceaux distinctifs d'une tombe royale – Anubis dominant les neuf ennemis de l'Égypte – laissent entrevoir la perspective d'une découverte... pharaonique. Carter ne tient plus en place. Son entêtement a fini par

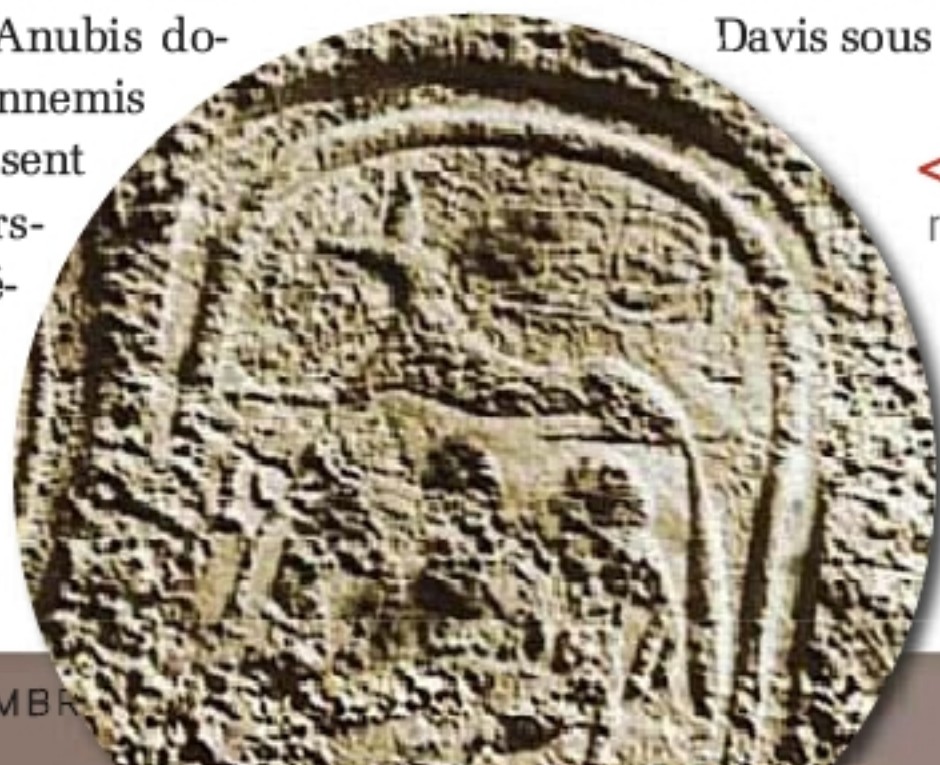
payer. Quand il avait racheté les droits de fouilles, en juin 1914, grâce au soutien de son généreux mécène et compatriote Lord Carnarvon, on l'avait mis en garde. La vallée n'avait plus rien à livrer : on y avait retrouvé toutes sortes de tombes, toutes pillées au fil des siècles, comme celle de Ramsès VI, dont la momie fut déplacée dans une cachette de la tombe d'Aménophis II, elle-même vidée de ses trésors. Après tant de fouilles menées dans ce petit canyon encaissé et ne mesurant guère plus de 1 km², que pouvait espérer Carter ?

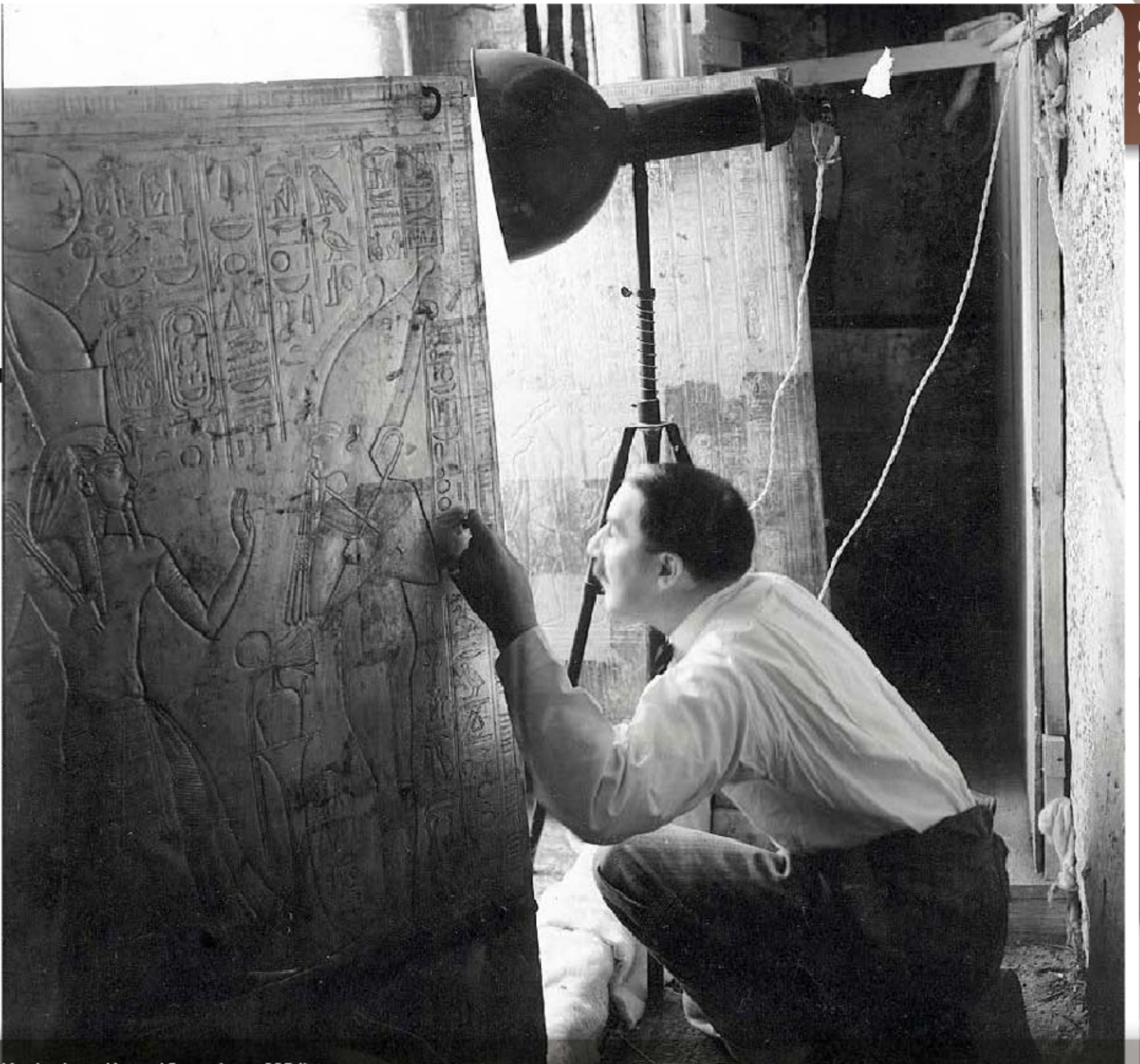
SOUS LES CABANES DES OUVRIERS...

Son prédécesseur, Theodore Davis, ne s'était-il d'ailleurs tourné vers d'autres sites ? Mais Carter n'en démordait pas : une tombe au moins restait à découvrir, celle d'un jeune pharaon méconnu, Toutankhamon. Pour preuves : cette tasse en faïence à son nom, trouvée par Davis sous une pierre de la

vallée. Et ces feuilles d'or à son effigie, exhumées d'un caveau trop insignifiant pour avoir été le sien. Sans compter ces sceaux d'argile utilisés pour ses funérailles, découverts dans des jarres à flanc de rocher. Autant d'indices qui ont convaincu Carter d'entreprendre des fouilles systématiques, parcelle après parcelle. En 1922, pour cette ultime saison, il ne restait plus qu'à fouiller sous ces ruines de cabanes que Davis avait complètement dégagées et qui, il y a plus de 3 000 ans, logèrent sans doute les ouvriers qui creusèrent le tombeau de Ramsès VI. Personne n'avait imaginé que, sous ces masures, puisse reposer un autre pharaon mort deux siècles auparavant. Or, les sceaux que Carter met au jour sont sans ambiguïté : la tombe est bien celle de Toutankhamon. Au temps des pharaons, *"des voleurs y étaient entrés, et plus d'une fois, précisera par la suite Carter. Mais pas depuis la mort de Ramsès VI, les maisons d'ouvriers l'ayant alors protégée. Ils ne l'avaient pas non plus complètement pillée, puisqu'on avait rescellé la porte"*. Or, cette porte rescellée fait entrevoir l'espoir qu'elle cache une tombe qui contiendrait encore une partie du trésor funéraire. Et en ce 26 novembre, après avoir retiré les pierres brutes de la première porte et parcouru un couloir en pente, c'est les mains tremblantes que Carter dégage une petite ouverture en haut d'une seconde porte scellée. *"Vous voyez quelque chose?"*, lui crie fébrilement Lord Carnarvon. *"Oh oui, je vois des merveilles!"*

◀ Découverts à flanc de rocher, ce sont notamment ces sceaux d'argile funéraires qui ont convaincu Carter d'entreprendre des fouilles systématiques.





L'archéologue Howard Carter (ici, en 1924) était le seul à penser qu'un pharaon méconnu, Toutankhamon, pouvait être découvert dans la Vallée des Rois. Après six saisons de fouilles infructueuses, il finit par trouver l'escalier du tombeau du jeune roi (ci-dessous). Pour évacuer l'incalculable trésor, on dut poser des rails (ci-contre).



TOUTANKHAMON LA TOMBE DE TOUTES LES RICHESSES

Dans le tombeau du jeune pharaon, plus de 2 000 objets ont été retrouvés, dont beaucoup en or massif. Et sans doute ne restait-il que la moitié des éléments d'origine au moment où le trésor a été exhumé...

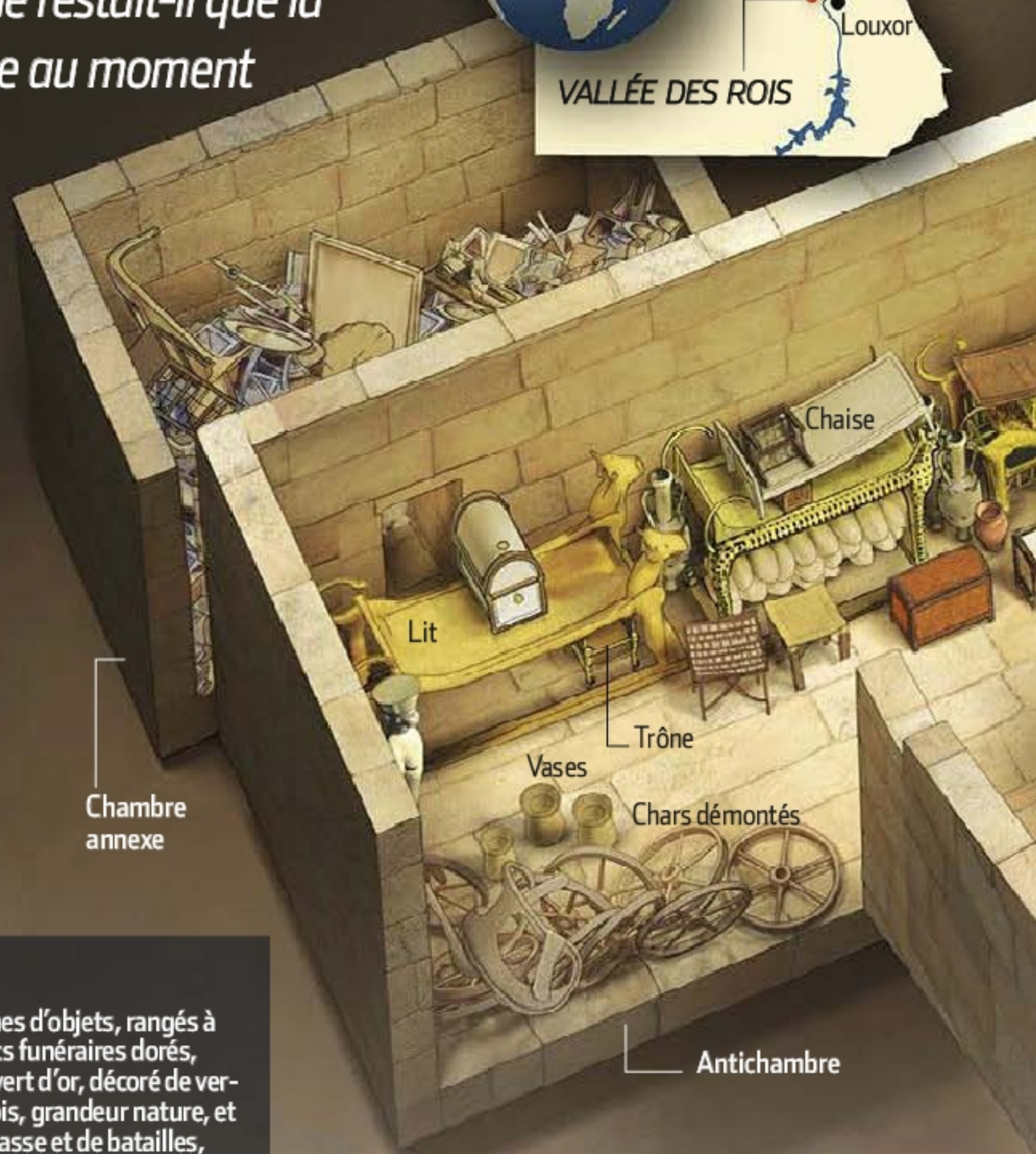


L'annexe

L'annexe dévoile dans le désordre le plus total, quatre lits, dont deux en ébène plaqué d'or, un trône en ébène incrusté d'ivoire, un tabouret orné des ennemis traditionnels de l'Égypte foulés aux pieds de Pharaon, des boîtes contenant un jeu miniature en ivoire (senet) ou de petits récipients de fine faïence bleu pâle. Dans un grand coffre s'accumulent arcs, flèches, boomerangs et autres armes de jet. D'autres armes, bâtons, épées, boucliers et amulettes jonchent le sol, avec un grand vase d'argent en forme de grenade. On trouve aussi un amoncellement de bâtons et cannes décorés d'or ou d'argent, d'autres jeux de senet avec leurs pions, osselets et bâtonnets d'ébène, ivoire et or, 34 vases d'albâtre ayant contenu des huiles et des onguents, 116 paniers de fruits secs et de graines et trois douzaines de jarres à vin.

L'antichambre

Première salle découverte, elle révèle des centaines d'objets, rangés à la hâte après le départ de pillards : trois grands lits funéraires dorés, sculptés d'animaux monstrueux, un trône recouvert d'or, décoré de verre, de faïence et pierres, trois statues du roi en bois, grandeur nature, et des coffres peints dont l'un, orné de scènes de chasse et de batailles, renferme des robes brodées d'or et des sandales en papyrus. On trouve aussi de nombreuses coupes et vases d'albâtre, des cannes, des chaises sculptées et des chars démontés étincelants d'or et de pierres incrustées. Un coffret contient une robe de cérémonie en peau de léopard, semée d'étoiles d'or et d'argent, un gros scarabée en or et lapis-lazuli, un sceptre et des bagues en or massif. Dans une boîte, un corselet de plusieurs milliers de pièces d'or, de verre coloré et de lapis-lazuli, considéré comme l'une des plus belles parures jamais trouvées en Égypte.





La chambre funéraire

Elle abrite une immense chapelle recouverte de feuilles d'or. Une chapelle si vaste (5 mètres de long, 3,5 de large et 2,70 de haut) qu'elle remplit presque toute la salle, ne laissant qu'un maigre espace entre elle et les murs qui, contrairement à ceux des autres salles, sont décorés de scènes et d'inscriptions. Si la chapelle est vaste, c'est qu'elle en abrite une deuxième, en bois doré, qui en abrite une troisième, elle-même en enfermant une quatrième, toutes emboîtées comme des poupées gigognes. Mais ce n'est pas tout. La dernière chapelle renferme une cuve en quartzite rouge contenant trois sarcophages emboîtés. Le premier en bois doré, où le pharaon est figuré dans la position du dieu des morts Osiris, mains croisées sur la poitrine ; le deuxième en bois recouvert de plaques d'or, incrusté de pâtes de verre multicolores. Quant au troisième, il est... en or massif (soit 1110,4 kg d'or pur !). Son ouverture révèle une momie de 1,63 m, carbonisée par l'accumulation d'onguents : celle de Toutankhamon, dotée d'un impressionnant masque en or et de plus de 143 bijoux d'or répartis sur l'ensemble du corps.

La chambre du trésor

Cette salle, "visitée" par les pillards malgré l'inscription magique qui en protégeait l'entrée, contient les objets les plus précieux qui ont servi au culte funéraire. Un coffre monumental, haut de presque 2 m, recouvert de textes hiéroglyphiques et de représentations religieuses, abrite les viscères momifiés du roi. Un autre coffre en bois doré au-dessus duquel trône la statue du chien Anubis, contient des objets du culte et des bijoux. Derrière lui, une tête de vache en bois doré évoque la déesse Hathor ou "œil de Rê". D'autres coffres renferment des statuettes du roi ou de divinités, des bijoux (boucles d'oreille, bracelets, pendentifs...), des outils pour écrire, des plumes d'autruche, ainsi qu'une flottille de bateaux, dont l'un devant servir au voyage funéraire. Dans dix kiosques, à l'angle nord-est, 113 figurines sont autant de serviteurs destinés à accomplir les travaux demandés au défunt dans l'au-delà. Au-dessus, à l'intérieur de trois sarcophages gigognes, une boucle de cheveux de la reine Tiye. Et dans une boîte en bois noirci, deux autres petits sarcophages posés tête-bêche. Chacun d'eux en renferme un autre, protégeant la momie d'un... fœtus. L'un de 6 mois, l'autre de 7.

VALLÉE DES ROIS LA GRANDE NÉCROPOLE DES PHARAONS

La Vallée des Rois rassemble un nombre exceptionnel de tombeaux. A partir de Thoutmosis I^{er}, les pharaons des XVIII^e, XIX^e et XX^e dynasties y ont été inhumés sous des formes architecturales très variées. Cartographie des styles les plus marquants.

Vallon désertique et encaissé, dominé par la "Cime" comme par une pyramide naturelle, la Vallée des Rois où fut découverte la tombe de Toutankhamon porte à merveille son nom : à l'exception d'Akhenaton, père probable de Toutankhamon, tous les pharaons des XVIII^e, XIX^e et XX^e dynasties y ont leur tombeau (une poignée reposant dans la vallée de l'Ouest, à quelques centaines de mètres). Le premier – connu à ce jour – de ces pharaons fut Thoutmosis I^{er}, au XV^e siècle avant Jésus-Christ. Les fastueuses sépultures de ses prédécesseurs ayant toutes fini par être pillées, il se fait creuser une tombe solitaire, cachée au fond de ce *ouâdi* desséché situé à proximité de Thèbes (Karnak-Louxor), cœur spirituel de l'Égypte, sur l'autre rive du Nil. Ce choix, suivi pendant près de cinq siècles par une soixantaine (au moins) d'autres pharaons jusqu'à Ramsès XI, membres de leur famille et hauts personnages du Nouvel Empire se révélera vain : toutes ces sépultures (numérotées aujourd'hui de KV1 à KV64 suivant l'ordre de leur découverte archéologique, KV signifiant "King Valley") seront elles aussi pillées, parfois par leurs propres gardiens.

KV17 SETI I^{er} (XIII^e siècle av. J.-C., XIX^e dynastie), découverte en 1817, restaurée de 1996 à 2000

Cette tombe est la première à être décorée de textes religieux complets, retraçant chacun le parcours du soleil dans le monde souterrain, sa disparition et sa renaissance, opposition de deux mondes qu'on retrouve dans la partition de la tombe en une zone solaire et une zone osirienne. Les corridors matérialisent les grandes étapes de ce parcours de la vie au trépas et du trépas à la vie. C'est aussi la première à adopter une chambre funéraire voûtée. Son architecture est rectiligne, ce qui est la règle depuis Aménophis III. C'est la tombe la plus longue et la plus profonde. Elle se termine par un corridor qui va en profondeur, et dont l'exploration a pris fin récemment sans rien révéler.

KV7 RAMSÈS II (XIII^e siècle av. J.-C., XIX^e dynastie), cartographiée en 1737-1738

La tombe du plus célèbre des pharaons du Nouvel Empire s'étend sur 168 m, c'est l'une des plus grandes (plus de 820 m²). Située dans la partie basse de la vallée, comme les suivantes de la XX^e dynastie ramesside, elle adopte un plan coudé, inhabituel pour cette période, comme l'est la présence de plusieurs grandes salles après la chambre funéraire qui, à elle seule, fait 181 m². Ses murs ont beaucoup souffert des inondations.

KV5 ENFANTS DE RAMSÈS II (XIII^e siècle av. J.-C., XIX^e dynastie), découverte en 1825

Les fouilles de 1987 ont révélé les dimensions exceptionnelles de cette tombe : plus de 120 salles et corridors, pour une longueur totale de 443,20 m. La chambre à piliers est la plus vaste de toute la vallée. Six fils royaux ont été identifiés, mais plus d'une vingtaine sont représentés sur les murs. Son plan est très inhabituel, avec un décrochage de l'axe principal après la chambre à piliers et le fait que certaines chambres ont été creusées sous d'autres. Sa surface est de 1266 m² !

KV20 THOUTMOSIS I^{er} ET HATSHEPSOUT (XV^e siècle av. J.-C., XVIII^e dynastie), cartographiée en 1799

Le tombeau aurait été construit pour Thoutmosis I^{er}, ce qui en ferait le plus ancien de la nécropole. Sa forme est unique, s'enroulant vers le bas depuis l'entrée, dans le sens des aiguilles d'une montre, par une série de cinq couloirs, sur une longueur totale de 210,30 m.

KV34 THOUTMOSIS III, XV^e siècle av. J.-C., XVIII^e dynastie

Creusée selon un plan coudé, comme les tombes les plus anciennes, elle innove avec un puits pour détourner les eaux des orages violents, qui peuvent transformer le *ouâdi* desséché en torrent. Ce puits a également une fonction symbolique : il donne accès au domaine de Sokar, divinité funéraire et chthonienne assimilée à Ptah et à Osiris.



ÉGYPTOLOGIE LA CHASSE AU TRÉSOR RESTE OUVERTE

La découverte en janvier dernier d'un sarcophage du IX^e siècle avant J.-C. confirme que la Vallée des Rois n'a pas livré tous ses secrets...

La Vallée des Rois cache-t-elle encore d'autres tombeaux de pharaons inconnus? Impossible, avait tranché l'explorateur Giovanni Belzoni en... 1820, pour qui les fouilles étaient bien, à l'époque, "terminées". Theodore Davis, après des années passées à remuer la poussière de ce canyon et enchaîner les découvertes, avait fini par prétendre la même chose en 1912. Et les égyptologues ont été nombreux, depuis 1922, à estimer qu'une page de l'archéologie était désormais tournée. Mais il faut croire que la vallée aime se moquer des jugements péremptaires et qu'elle se plaît à donner raison aux obstinés. En effet, le 15 janvier, des archéologues suisses ont annoncé la mise au jour d'une nouvelle tombe! (KV64.)

C'est en nettoyant la sépulture de Thoutmosis III que les archéologues, dirigés par Susanne Bickel et Elina Paulin-Grothe (université de Bâle) ont vu se dessiner, le 25 janvier 2011, le bord supérieur d'une structure. Le jour même, l'Égypte entrait en révolution, les obligeant à interrompre les fouilles. Elles ont repris le 8 janvier 2012, faisant apparaître un puits de 3,5 m, qui mène à un petit corridor débouchant sur une pièce de 4,10 m sur 2,35 et haute de 2 m. L'ensemble présente toutes les apparences d'une tombe. Mais de qui?

Le suspense sera de courte durée: nulle trace de pharaon, mais sous une couche de 1 m de gravats, les archéologues dégagent, dans un sarcophage noir intact du IX^e siècle av. J.-C., la momie d'une femme, d'environ 1,55 m. Une stèle de bois, à côté du sarcophage, livre son nom: Nehmès Bastet, chanteuse dans le grand temple d'Amon à Karnak, de l'autre côté du Nil, lors de la XXII^e dynastie (945-715 av. J.-C.).

UN TOMBEAU DE DIVA QUI PARLE

Une diva, donc, enterrée dans une sépulture qui n'avait pas été creusée, à l'origine, pour elle. En témoignent un pot et divers fragments de céramique datant de la XVIII^e dynastie, au XV^e siècle avant notre ère, qui laissent supposer une première inhumation – confirmée par quelques restes abîmés d'une momie – un demi-millénaire plus tôt. La tombe fut donc réutilisée pour accueillir la chanteuse, à une époque où toutes les tombes de la vallée avaient déjà été pillées. Personne, en revanche, ne semble y avoir pénétré depuis. Cette découverte inattendue confirme que des individus "ordinaires" pouvaient être enterrés dans la vallée au cours de la XXII^e dynastie, et que les funérailles y étaient alors beaucoup plus sobres. Elle confirme surtout que la nécropole

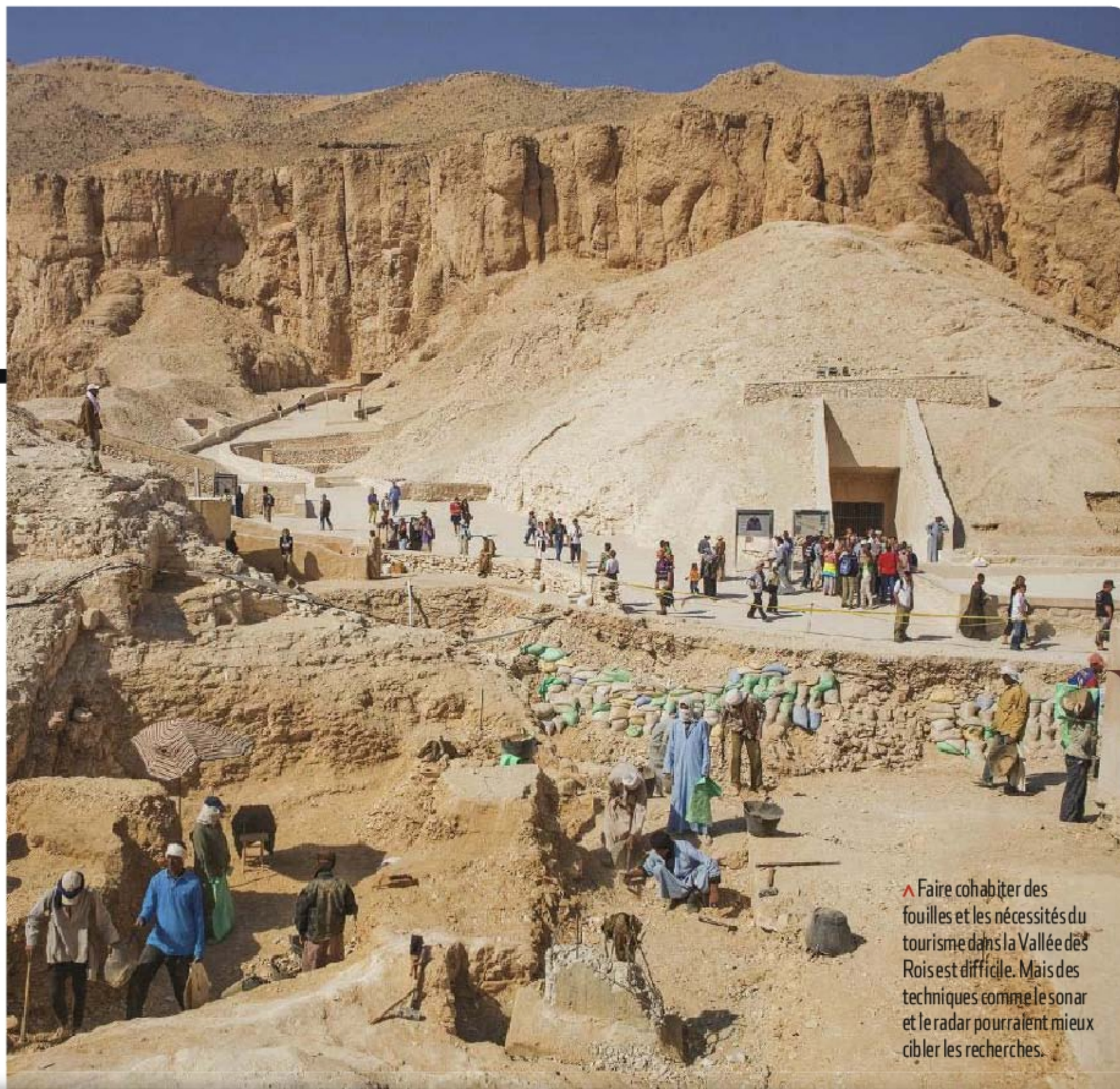
royale est encore loin d'avoir livré tous ses secrets. Et redonne donc espoir aux amateurs de trésors pharaoniques.

Car les fouilles n'ont jamais cessé, les équipes se succèdent depuis des décennies pour finir de dégager les 62 tombes exhumées, restaurer les décorations, identifier les momies et reconstituer, pièce par pièce, ce gigantesque puzzle funéraire. Avec l'espoir de découvrir de nouvelles salles. Comme en 1995, lorsque l'Américain Kent Weeks, en extrayant la boue durcie amenée dans la tombe KV5 par les inondations, dégagait une cinquantaine de chapelles dédiées aux fils de Ramsès II. La possibilité de retrouver un mobilier funéraire aussi riche que celui de Toutankhamon n'est donc pas totalement exclue.

Peut-on se fier, dans cette vaste quête, à autre chose que le hasard? Des →



▲ Les découvertes n'ont pas cessé : en 2007, un canal de drainage des eaux d'inondation a été exhumé...



▲ Faire cohabiter des fouilles et les nécessités du tourisme dans la Vallée des Rois est difficile. Mais des techniques comme le sonar et le radar pourraient mieux cibler les recherches.



▲ ... tandis que l'équipe d'Otto Schaden avait mis au jour en 2005 une salle (KV 63) abritant sept sarcophages...



▲ ... et en janvier, des archéologues suisses ont dégagé, dans une nouvelle tombe, la momie d'une "diva" antique dans un sarcophage noir (KV64).

→ techniques pointues d'imagerie ont été appelées à la rescousse. Dès 1977, Lambert Dolphin publiait les résultats d'une analyse au sonar de la tombe de Toutankhamon et de ses alentours : plusieurs anomalies pourraient correspondre à d'éventuelles cavités. Le Britannique Nicholas Reeves décide en 2000 de poursuivre pendant six mois l'analyse du sol à l'aide d'un radar, au sein de l'Amarna Royal Tomb Project. Le radar révèle une cavité à proximité de KV62, la tombe de Toutankhamon. Le 9 mars 2005, son confrère Otto Schaden annonce en effet avoir découvert, en nettoyant la tombe KV10 d'Amenmès, petit-fils de Ramsès II, un possible nouveau tombeau (KV63), à moins de 15 m de KV62. Cette structure gisait également sous des huttes ayant servi à loger les ouvriers et artisans qui travaillaient sur la tombe d'Amenmès. Et 3 m sous les huttes, un puits vertical de 10 m menait à une porte de blocs de calcaire, scellant une chambre funéraire de 4,50 m sur 2,50 m. L'équipe d'Otto Schaden y a trouvé sept sarcophages, dont quatre en très mauvais état. A qui appartiennent-ils ? Que font-ils là ? L'un d'eux a pu être identifié comme étant celui d'une infirmière royale nommée Iny... Mais point de pharaon, donc. Peut-être ne s'agit-il pas d'une véritable tombe non plus. Pour le Conseil suprême des antiquités égyptien, il s'agirait plutôt d'une cachette datant vraisemblablement de

la fin de la XVIII^e dynastie (soit à une époque très proche de celle de Toutankhamon), ou d'un atelier d'embaumeurs, qui y auraient entreposé jarres à viscères, sarcophages et tissus usés. Les deux versions ne s'excluent pas : creusée pour être une tombe, cette structure a pu finalement finir comme cache pour du matériel sacré. Ce qui signifierait – comme le fait remarquer Nicholas Reeves – que la sépulture pour laquelle ces embaumeurs travaillaient reste à trouver.

"UN POTENTIEL IMMENSE"

Nicholas Reeves affirme en effet, depuis août 2006, que son étude radar menée en 2000 a révélé la présence d'une autre anomalie à 15 m de l'anomalie précédente, et dont il a donné la localisation exacte, dans le but "*d'alerter le monde sur le potentiel immense restant dans la Vallée des Rois, en dépit de deux siècles de graves abus archéologiques*". L'écho radar révèle en effet un vide, à une grande profondeur, dont l'explication, dans le contexte d'une nécropole, ne peut être selon lui que la présence d'une tombe, sans doute antérieure à celle de Toutankhamon. Il espère en particulier retrouver la dernière demeure de Néfertiti, la femme d'Akhenaton (père probable de Toutankhamon), ou de Kiya, sa deuxième épouse et de sa seconde fille Maketaton, ainsi que celle de

Ramsès VIII. Une tombe hermétiquement close et préservée, dont l'analyse de l'air, des poussières, des insectes et bactéries pourrait à elle seule livrer des informations scientifiques précieuses. Outre l'éventualité, toujours possible, d'un trésor funéraire resté inviolé.

Qu'attend-on pour fouiller ? Les choses ne sont pas si simples dans la vallée. Zahi Hawass, grand patron jusqu'en 2011 du Conseil suprême des antiquités, a toujours refusé de reconnaître le bien fondé de cette piste. Ses rapports avec Nicholas Reeves ont été exécrables depuis qu'une vilaine rumeur, lancée en 2002, accusait l'archéologue américain d'être impliqué dans un trafic d'antiquités. Finalement reconnu innocent quelques années plus tard, Nicholas Reeves n'a jamais été autorisé à reprendre ses recherches dans la vallée. Une équipe égyptienne entreprend néanmoins quelques fouilles depuis 2007. Près de la tombe de Mérenptah, où elle a mis au jour un canal de drainage des eaux d'inondation. Et près de la tombe de Toutankhamon, où seules de petites structures de pierre ont été exhumées – utilisées sans doute pour stocker de la nourriture et des objets. Qu'importe, les amateurs de trésors continuent d'espérer. Quitte à faire sourire les pharaons qui, du haut de leur éternité, observent notre entêtement à exhumer le faste de leurs glorieuses destinées. ■

C'ÉTAIT DANS SCIENCE & VIE...

L'engouement pour les pharaons commence en 1967, avec le succès de l'exposition du trésor de Toutankhamon au Petit Palais. S&V publie la première radiographie du masque. Trente ans après, celle de son crâne fait sensation : on y voit les traces d'un coup mortel (S&V mai 1997). En 2002, un reportage s'appuie sur des reconstructions en 3D : "*La police américaine*

veut croire à un meurtre". La révélation la plus éclatante arrive en 2010, avec l'arbre généalogique des momies royales, déduit de leur ADN : Toutankhamon était le fruit de l'inceste entre Akhenaton et sa sœur "Young Lady", ce qui lui a valu une maladie rare des os et des malformations, même si son assassin semble porter un autre nom : le paludisme. F.G.



EN PRATIQUE

122 **BON À SAVOIR**
En direct des publications scientifiques et autres rapports et études...

124 **ZOOM DU MOIS**
Sauvegarde informatique : sachez préserver votre patrimoine numérique

132 **QUESTIONS/RÉPONSES**
Envoyez-nous vos questions et gagnez un abonnement d'un an à *Science & Vie*.

138 **TECHNOFOLIES**
La lentille souple qui va révolutionner la prise de vue...
et les dernières innovations technologiques.

144 **LE CIEL DU MOIS**





EN PRATIQUE

BON À SAVOIR

GARE AUX ANTI-DÉPRESSEURS AU VOLANT

Le risque d'accident de voiture monte de 34 % si le conducteur est sous antidépresseurs. On ne sait pas si c'est la maladie ou les médicaments qui sont en cause, mais le risque augmente aussitôt après le début d'un traitement. "J. Clin. Psychiatry", août 2012

PLUS ON RÉFLÉCHIT, MOINS ON EST GÉNÉREUX

Donnez 40 dollars à chacun des membres d'un groupe, et dites-leur que toute somme reversée au groupe sera doublée puis redistribuée. Plus de la moitié des participants joueront le jeu de la coopération. Est-ce une tendance naturelle, freinée par la réflexion ? Ou sommes-nous par nature égoïstes, la coopération étant motivée par les avantages que l'on espère en tirer ? Une équipe américaine a enregistré le choix de centaines de participants forcés à se décider en moins ou en plus de dix secondes. Résultat : les sommes versées à la communauté diminuent quand le temps de réflexion s'allonge. La coopération est spontanée. "Nature", 2012



SOUVENT FEMME IGNORE QUAND ELLE EST FERTILE

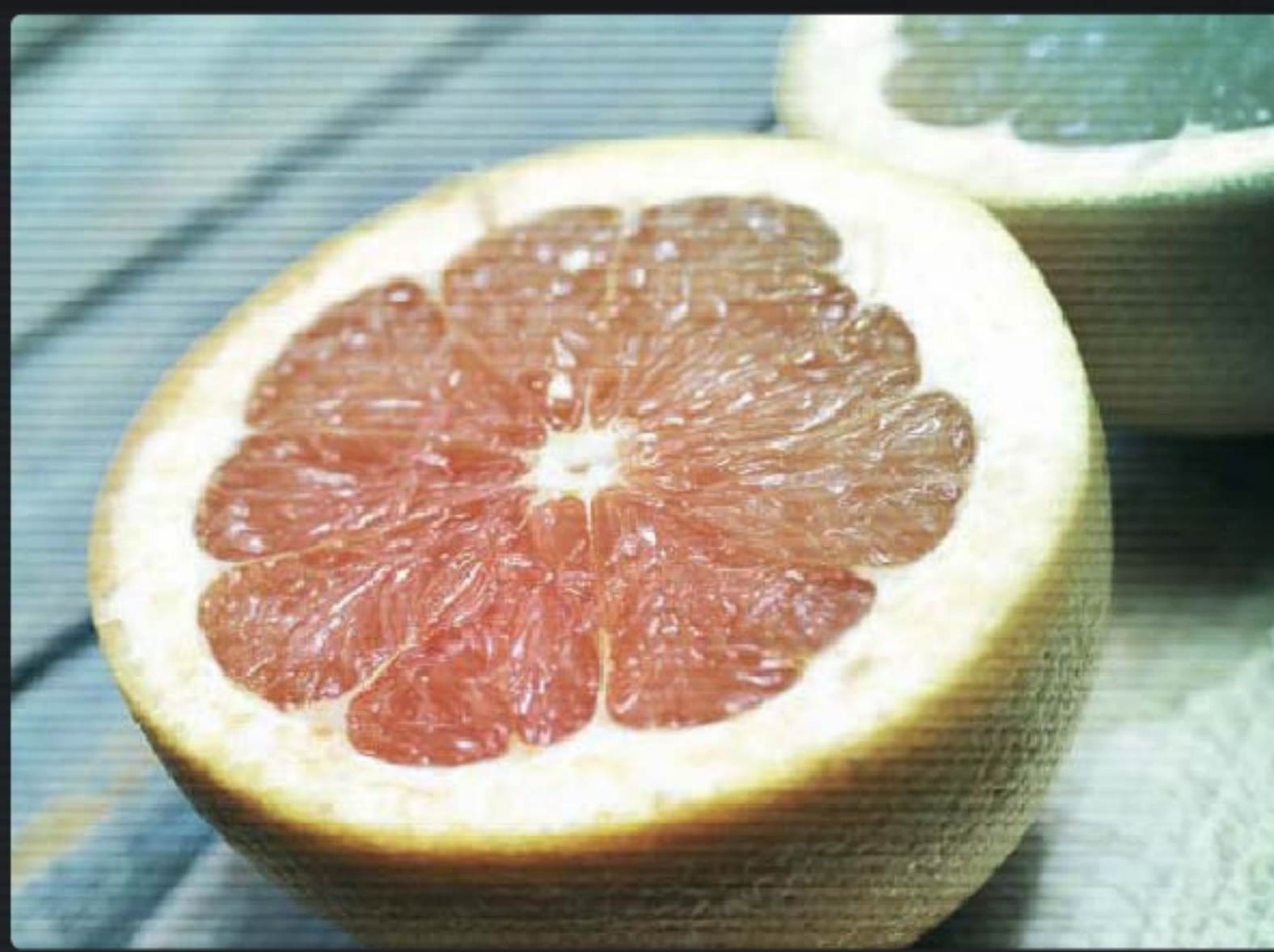
Plus de 200 femmes admises dans des cliniques de reproduction en Australie ont été interrogées : 87 % ne savaient pas identifier correctement les périodes de fertilité au cours du cycle menstruel. Une ignorance qui contribuerait aux difficultés à procréer. "JAN", 2012

MÊME LES JEUNES FUMEURS ONT DU MAL À ARRÊTER

Les fumeurs récents éprouvent un syndrome de manque comparable à celui des fumeurs de longue date, mais ils sont moins irritables et plus positifs. "Nicotine & Tobacco Research", 2012

LE PAMPLEMOUSSE NUIT À MOULT MÉDICAMENTS

Le phénomène est connu mais peu signalé lors des prescriptions. Des dizaines de médicaments sont incompatibles avec le pamplemousse : immunodépresseurs, benzodiazépines, inhibiteurs calciques, carbamazépine... Cet agrume inhibe certaines enzymes, augmentant la concentration dans le sang de molécules métabolisées par ces enzymes, d'où des surdosages. Ainsi, l'absorption de la simvastatine, un anticholestérol, peut être multipliée par 15. Le citron vert et l'orange amère pourraient avoir des effets similaires. "Prescrire", sept. 2012





ÊTRE CRÉATIF ALLONGERAIT LA DURÉE DE VIE

Créativité et longévité sont intimement liées, selon des chercheurs américains qui ont analysé la personnalité de 1346 vétérans de la Seconde Guerre mondiale, suivis entre 1990 et 2008. Cet effet se manifeste quels que soient l'âge, le niveau d'études, la santé et le fait que la personne soit ou non fumeuse, du moins chez les hommes. Plusieurs hypothèses sont déjà avancées : la créativité permettrait une meilleure adaptation aux circonstances de la vie et stimulerait l'activité du cerveau, réduisant le stress et le risque de développer la maladie d'Alzheimer. "JAH", juin 2012

LA MAMMOGRAPHIE EST BEL ET BIEN UTILE

Pour 1000 femmes de 50 à 60 ans subissant cet examen tous les deux ans, jusqu'à 9 décès peuvent être évités. Certes, au prix de 4 diagnostics faussement positifs, mais ce résultat encourage le dépistage systématique du cancer du sein. "J. Med. Screen.", sept. 2012

L'AIR DES VILLES RESTE TROP POLLUÉ

Entre 2004 et 2006, le niveau moyen de particules fines était de 14 à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans 9 grandes villes françaises, bien au-dessus des 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ recommandés par l'OMS. Le maximum journalier d'ozone (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a été dépassé de 81 à 307 fois. "INVS", sept. 2012

TOUS LES OBÈSES NE SONT PAS MALADES

Une étude espagnole menée sur 43000 personnes pendant quinze ans conclut que 30 à 40 % des obèses n'ont aucun trouble métabolique et n'ont pas plus de risques que les autres de développer une maladie cardiaque ou un cancer. "Eur. Heart J.", sept. 2012

NOTRE FAÇON DE BOIRE DÉPEND DE LA FORME DU VERRE

Lorsque nous buvons de l'alcool, si le verre est long et évasé, notre descente est 60 % plus rapide que s'il est droit, conclut une étude anglaise. Il s'agirait d'un effet d'optique : le verre évasé bouleverse nos repères, si bien que lorsqu'on pense avoir avalé la moitié, elle est en fait déjà dépassée. Autre explication : cette forme serait positivement associée à la bière blonde, contrairement aux verres standard dans lesquels sont servies toutes sortes de boissons. "PloS One", août 2012





EN PRATIQUE

ZOOM DU MOIS

Par Pierre-Yves Bocquet

Sauvegarde informatique

Sachez préserver votre patrimoine numérique

L'augmentation du volume des données informatiques, de nature et importance variables, oblige à sélectionner le type de sauvegarde adéquat. Voici tout ce qu'il vous faut savoir sur les diverses techniques de stockage.

Votre disque dur est au bord de l'asphyxie ? Rien d'étonnant. Poussées par l'essor des technologies numériques et la dématérialisation des documents – le fameux “zéro papier” – les quantités de données numériques personnelles à stocker n'ont jamais été aussi importantes. Selon le cabinet Gartner, les besoins moyens en stockage par foyer vont passer de 464 gigaoctets (Go) en 2011 à 3,3 téraoctets (1 To = 1 000 Go) en 2016. Soit une multiplication par 7 en cinq

ans. Comment gérer cette accumulation et surtout assurer l'archivage à long terme et en toute sécurité de ce patrimoine numérique immatériel et envahissant ?

Il s'agit de choisir le ou les supports permettant de conserver intactes vos données numériques. Alors quelle solution choisir ? Tout dépend de vos usages et besoins. Les photos, par exemple, ne sont pas seulement des fichiers pouvant peser chacun jusqu'à plusieurs centaines de mégaoctets, il

faut songer qu'elles s'accumulent plus ou moins rapidement, au fil du temps et du nombre d'événements que vous immortalisez. S'imposerait alors un stockage de grande capacité (disque dur externe ou DVD).

BIEN DÉFINIR VOS BESOINS

Mais il n'y a pas que le volume à prendre en compte au moment d'archiver vos données. Il importe aussi d'en définir votre utilisation : souhaitez-vous les transmettre, les partager facilement... A moins que vous ne vouliez les conserver à l'abri des regards indiscrets. En plus du disque dur de votre ordinateur, l'archivage numérique de qualité et de longue durée



de vos précieuses et confidentielles photos gagnera à s'effectuer sur un disque Blu-ray de bonne qualité. Les photos plus anecdotiques et destinées à être partagées avec vos proches pourront être stockées sur le *cloud* (réseau de stockage en ligne), sur des sites spécialisés comme Picasa (Google) ou Flickr (Yahoo). Côté musiques et vidéos, l'archivage demande un grand volume de stockage (surtout pour les vidéos) à un coût raisonnable, mais aussi une bonne vitesse de transfert, notamment pour les films. Si les

Le volume des données

Selon qu'ils contiennent des images, des sons ou des vidéos, la taille de vos dossiers varie considérablement. Ainsi, un dossier de 1 gigaoctet peut renfermer soit un seul film DivX basse définition,

soit 160 fichiers audio au format MP3, soit 50 photos haute définition au format RAW, mais jusqu'à 10 000 photos au format JPEG basse définition, ou plus de 60 000 pages de texte au format PDF.



musiques peuvent être stockées sur clé USB (une clé de 16 Go peut contenir près de 3 000 fichiers MP3), les vidéos requièrent un disque dur externe, pour son prix et ses vitesses de transfert. D'un coup supérieur, le disque SSD à base de mémoire flash est, lui, plus rapide et ne souffre pas d'usure.

Les documents de travail ou administratifs, eux, ne pèsent pas lourd (quelques dizaines de kilo-octets), mais réclament souvent un archivage à long terme assurant également leur confidentialité. La clé USB, plus

fiable que le disque dur, est une solution intéressante, à condition d'opter pour un modèle sécurisé par mot de passe. Autre option, le *cloud* permet d'accéder à vos documents où que vous soyez, mais gare à la sécurité. Dans ce cas, le *cloud* personnel (un disque dur branché sur le réseau d'une "box" faisant office de serveur de stockage) peut être une alternative.

Quels que soient vos priorités et besoins, vous trouverez dans ces pages un résumé des caractéristiques des différents supports qui vous orientera dans votre choix.

Les 5 types de supports

LE DISQUE DUR permet de stocker plusieurs téraoctets de données. Transfert et consultation sont rapides, mais c'est un support sensible à l'usure (voir p. 127)

LE DVD stocke jusqu'à 8,5 Go. C'est un support fiable mais sensible à la lumière et à l'humidité (voir p. 127)

LE CLOUD offre de déposer quelques centaines de gigaoctets sur des serveurs distants. Accès facile mais fiabilité et sécurité sont des points sensibles. (voir p. 128)

LE BLU-RAY a une meilleure longévité que le DVD et une capacité allant jusqu'à 50 Go (voir p. 129)

LES MÉMOIRES FLASH sont des supports résistants, rapides et compacts (clé USB, carte SD, disque SSD) stockant jusqu'à 256 Go (SSD) (voir p. 130)



Les 6 règles d'un archivage sûr

1- ENCODER

Conserver ses données, c'est bien. Pouvoir les relire plus tard, c'est mieux. Or, nos logiciels évoluent vite et leur dernière génération est parfois incapable d'ouvrir des fichiers créés avec des versions antérieures. Il est donc préférable de sauvegarder vos données sous des formats ouverts ou faisant l'objet de normes (.pdf/a ou .txt pour les documents écrits, JPEG 2000 pour les images, MPEG-4 pour la vidéo). Evitez les formats dits "propriétaires", limités à la lecture par un logiciel particulier (.rtf, .doc, .psd, .avi), plus exposés à l'obsolescence.

2- SÉLECTIONNER LE BON SUPPORT

Il convient de bien évaluer la taille de votre patrimoine numérique et sa vitesse de croissance, afin d'opter immédiatement pour la capacité dont vous aurez besoin dans cinq ou dix ans, selon la durée de vie du support. En moyenne, comptez un facteur de 3 à 5. La vitesse de transfert des données doit aussi être adaptée à leur volume et à leur usage. Pour les collections de plus de 500 Go, les liaisons USB 3.0 et le eSata s'imposent, tandis que l'USB 2.0 restera suffisant pour les volumes inférieurs. Débits théoriques :
Wi-fi n (cloud) : 37,5 Mo/s
USB 2.0 : 60 Mo/s
FireWire 3200 : 400 Mo/s
USB 3.0 : 625 Mo/s
eSata 3.0 : 750 Mo/s (compatible avec un périphérique USB)

3- CLONER

La longévité n'est le point fort d'aucun support. La solution : dupliquer son patrimoine

numérique sur au moins deux supports, en essayant de panacher les technologies, les marques et les références.

4- DÉLOCALISER

Nul n'est à l'abri d'une perte, d'un vol, d'une inondation ou d'un incendie qui ferait disparaître tout ou partie de vos supports. Il peut donc être sage de conserver au moins l'une de vos sauvegardes dans un lieu différent, si vous n'avez pas opté pour une sauvegarde sur le *cloud*.

5- METTRE À JOUR

Mieux vaut éviter de toucher à la collection de référence – celle qui sert de modèle à vos copies de sauvegarde – pour éviter les risques d'effacement accidentel. Les nouveaux fichiers à stocker peuvent donc être rassemblés dans un dossier séparé, qui sera ajouté à votre collection en une fois, lors de votre contrôle périodique, par exemple.

6- CONTRÔLER

La mise à jour (au moins une fois par an) est l'occasion de surveiller l'état de votre collection et des supports. Inutile d'ouvrir tous les fichiers : un simple copier-coller de l'ensemble des fichiers vers le disque de votre ordinateur suffit pour détecter un support à risque. Lorsque la vitesse de transfert d'un fichier est anormalement longue ou qu'un message d'erreur final indique qu'un ou plusieurs fichiers n'ont pu être copiés, il est préférable de remplacer le support défaillant par un nouveau. (Source : *Préserver son patrimoine numérique*, de Claude Huc, éditions Eyrolles.)



SAUVEGARDER SUR...

Disque dur externe

● Principe de fonctionnement

Le disque est composé d'un ou plusieurs plateaux superposés recouverts d'une couche magnétique active. L'écriture et la lecture sont faites par une tête qui se déplace à la surface du plateau en rotation et qui, à l'aide d'un courant électrique, modifie le champ magnétique local pour stocker les données.

● Capacité

Le disque dur dépasse le téraoctet (1000 gigaoctets). Les boîtiers de 4 ou 6 To sont souvent composés de plusieurs disques de 2 ou 3 To superposés.

● Prix

C'est l'un des points forts du disque dur : 0,10 euro/Go en

moyenne. Ce prix a cependant connu une hausse début 2012, à la suite des inondations qui ont touché les usines de production des principaux fabricants, fin 2011. Les prix tendent à revenir au niveau de 2011.

● Longévité/fiabilité

Les déplacements mécaniques du disque et de la tête de lecture rendent le disque dur sensible à l'usure et aux chocs. Les fabricants annoncent des temps moyens avant panne de 1 à 1,5 million d'heure (soit plus de cent ans). Les spécialistes de l'archivage créditent, eux, ces supports d'une durée de vie moyenne de cinq ans. La plupart intègrent la technologie Smart (*Self-monitoring,*

analysis and reporting technology), qui permet en théorie au disque de s'autocontrôler et d'avertir l'utilisateur en cas de risque de perte des données. Il y a quelques années, Google a réalisé une étude de fiabilité sur une collection de 100 000 disques durs grand public. Il a constaté un taux de panne de 1,7 % des disques, la première année de leur mise en fonction; de 8 % la deuxième année et de 8,6 % la troisième année. Cette étude a aussi révélé que bon nombre de *crashes* n'avaient pas été anticipés par le système Smart.

● Vitesse

La vitesse d'écriture du disque dur dépend surtout de sa vitesse de rotation. Les

disques durs présentent des vitesses de 5000 à plus de 10 000 tours/min. Soit un débit d'environ 50 Mo/s en écriture, permettant de copier 10 Go en un peu moins de trois minutes et demie.

● Sécurité

La plupart des disques de 500 Go et plus intègrent des suites logicielles avec la possibilité de crypter les données ou d'en protéger l'accès par un mot de passe.

● Conclusion

Offrant de grandes capacités pour un prix compétitif, le disque dur externe reste le support privilégié pour la manipulation de fichiers volumineux. Toutefois sa longévité contraint à cloner la collection sur d'autres supports.

SAUVEGARDER SUR...

DVD (DVD-R)

● Principe de fonctionnement

Le DVD en polycarbonate est doté d'une couche réfléchissante et d'une couche de colorant organique enregistrable qui se déforme sous l'effet de la chaleur du laser du graveur. À la lecture, ces déformations se traduisent par des variations de la réflectivité du signal lumineux.

● Capacité

4,7 Go de données et 8,5 Go pour un DVD double couche.

● Prix

De 0,40 euro l'unité (0,07 euro/Go) à 4 euros pour les double couche de 8,5 Go (0,47 euro/Go) ou les DVD-RW de 4,7 Go réinscriptibles (0,85 euro/Go).

● Longévité/fiabilité

L'absence de contact et de pièces mécaniques rend le DVD insensible à l'usure. Mais la structure multicouche de composés polymères et organiques le rend vulnérable au vieillissement chimique, accéléré par la lumière, aux températures élevées et à l'humidité. Une étude du Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), en 2011, démontre qu'après sept ans passés dans de bonnes conditions de stockage, 17 % des disques présentaient des zones dégradées, dont 12 % avec des pertes irréversibles de données. Des résultats équivalents à ceux des CD-R, crédités d'une durée de vie

moyenne de dix ans. Et les DVD estampillés "archivage", "Milleniata" ou "Gold" n'obtiennent pas toujours de meilleurs résultats. Les DVD réinscriptibles (DVD-RW) sont deux fois moins résistants au vieillissement.

● Vitesse

La vitesse de gravure maximale supportée par les DVD varie de 1,35 Mo/s (1x) à 32,4 Mo/s (24x). Soit trois minutes pour remplir un DVD 24x de 4,7 Go (quatre minutes pour un double couche de 8,5 Go). Attention, une vitesse de gravure trop élevée peut avoir un impact sur la durée de vie. Pour une même référence, les meilleurs résultats ont été obtenus avec

une gravure à 50 % de la vitesse maximale affichée.

● Sécurité

Le DVD ne permet pas de limiter son accès à la lecture. La protection des données avant gravure (cryptage, compression protégée par mot de passe) permet de contourner cette faiblesse.

● Conclusion

La capacité et le temps de gravure sont des handicaps par rapport au disque dur. Mais sa longévité en fait un support privilégié, à condition d'opter pour un disque de qualité. Il tend à être concurrencé par le Blu-ray, dont la durée de vie semble au moins équivalente pour des capacités plus élevées.



SAUVEGARDER SUR...

Cloud (nuage informatique)● **Principe de fonctionnement**

Pour le *cloud* ("nuage", en anglais), les données à stocker sont transférées sur les serveurs d'un prestataire de service, en dehors de chez vous. Le stockage est réalisé sur des disques durs ou des disques SSD (voir "mémoire flash") dans des *data centers*, avec l'avantage de pouvoir être consulté à distance depuis n'importe quel terminal (PC, tablette...) pourvu d'une connexion Internet.

● **Capacité**

Les capacités proposées varient de quelques gigaoctets à plusieurs centaines de gigaoctets, voire au-delà du téraoctet pour les professionnels.

● **Prix**

De nombreux prestataires proposent la gratuité pour les premiers gigaoctets, comme Google Drive (5 Go), Dropbox (2 Go), Microsoft SkyDrive (7 Go), Amazon Cloud Drive (5 Go) ou HubiC (25 Go), pour ne citer que les principaux. Au-delà, comptez entre 3 et 16 €/mois les 100 Go.

● **Longévité/fiabilité**

Elles sont en théorie les mêmes que pour un disque dur ou un SSD que vous pourriez avoir chez vous. Sauf que la plupart des prestataires utilisent la technologie RAID (*Redundant Array of Independent Disks*), pour assurer la pérennité des données que vous leur confiez. Le RAID consiste à répartir automatiquement les fichiers

sur divers supports et sur différents sites, afin d'assurer leur complète récupération, même si l'un des disques venait à subir une défaillance. Le *cloud* présente un risque, celui de la disparition (fermeture, faillite...) du prestataire, comme cela est arrivé en 2009 au mal nommé ForEverSafe, ou plus récemment à MegaUpload. Et la pérennité des données ne se mesure pas toujours à l'aune de la notoriété: en 2011, l'Elastic Compute Cloud (EC2) d'Amazon a connu un incident technique qui a entraîné des pertes de données d'une partie de ses clients.

● **Vitesse**

Les temps de transferts montants, vers le serveur distant (*upload*), ou descendants, vers votre PC (*download*), varient. Ils dépendent du débit de votre connexion Internet, ainsi que de la bande passante mise à disposition par votre prestataire. Les tests effectués par des sites spécialisés font état de vitesses de transfert assez faibles: de 0,5 à 3,5 Mo/s, soit jusqu'à trente minutes pour transférer 1 Go de données.

● **Sécurité**

La plupart des services payants proposent des connexions sécurisées pour le transfert des données et utilisent un cryptage des données avant transfert, avec la possibilité de protéger l'accès par mot de passe. Mais aucun système n'est infaillible, comme le précise

Dropbox dans sa politique de confidentialité: "*Aucune méthode de transmission électronique ou de stockage n'est fiable à 100 %. Par conséquent, nous ne pouvons garantir son absolue sécurité.*" L'entreprise californienne sait de quoi elle parle: en juin 2011, un problème technique avait paralysé le contrôle par mot de passe du système et rendu temporairement les données de chaque compte accessibles sur simple mention de l'e-mail du titulaire. Les accros à la confidentialité préféreront la solution du *cloud* personnel (Network Attached Storage): un boîtier de disques durs branché sur une box Internet permet de transférer et de consulter ses données à distance tout en les conservant chez soi (à condition de maintenir la box et les disques durs sous tension...)

● **Conclusion**

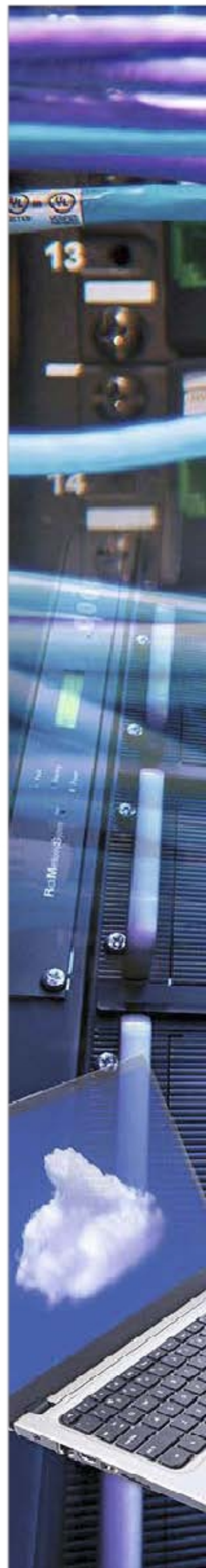
Le prix du *cloud* est élevé, comparé aux autres solutions, même si la guerre marketing qui oppose les prestataires les pousse à offrir de plus en plus d'espace gratuit. Malgré une faible vitesse de transfert, le *cloud* est une solution pratique, pour archiver des fichiers peu volumineux (documents, photos) avec la possibilité de les consulter à distance. Selon le Cabinet Gartner, plus d'un tiers du patrimoine numérique des particuliers sera stocké sur le *cloud* d'ici à 2016.

Bien organiser vos fichiers

L'archivage sera compatible avec tous les systèmes, si le nom des fichiers et répertoires ne comporte ni accent, ni majuscule, ni caractères spéciaux (sauf le point et les tirets haut et bas). Le nom

du fichier ou, au pire, le répertoire dans lequel il est rangé, doit refléter son contenu. Les fichiers apparaîtront dans l'ordre chronologique, s'ils sont nommés sous la forme AAAAMMJJnomdefichier.

De plus, classez les fichiers dans des répertoires formant une arborescence logique. Exemple: D:\jean\perso\administratif\edf\relevés\2012\2012_06_releve_edf.pdf.





SAUVEGARDER SUR... **Blu-ray (BD-R)**

● Principe de fonctionnement

Comme les DVD, le disque Blu-ray est une galette en polycarbonate sur laquelle sont déposées une couche métallique réfléchissante et une couche sensible enregistrable. A la différence des DVD, ces couches sont déposées non pas au cœur de la galette, mais en surface. Il existe deux technologies de Blu-ray enregistrable, la HTL (*High to low*) et la LTH (*Low to high*), apparue plus récemment. Sur un disque HTL, la couche sensible sur laquelle sont stockées les données est constituée d'une double couche d'alliages métalliques, contrairement au disque LTH qui, comme les CD et DVD, est constitué d'une couche de colorant organique. Dans les deux cas, le laser du graveur entraîne des modifications chimiques qui changent la réflectivité des zones gravées, vers une réflectivité moindre pour le HTL, supérieure pour le LTH. Une nuance importante pour la longévité.

● Capacité

Grâce à un faisceau plus fin (320 nm de diamètre) que celui utilisé dans les DVD (740 nm), le laser des Blu-ray peut graver des marques plus petites et plus rapprochées et augmenter ainsi d'un facteur 5 la quantité de données stockées sur la même surface. Soit 25 Go pour les BD-R simple couche et 50 Go pour les galettes double couche (BD-R DL).

● Prix

Le prix varie de 0,10 euro/Go pour les galettes de 25 Go à 0,30 euro/Go pour les galettes double couche de 50 Go. Ne pas oublier le prix du graveur (environ 100 euros), encore peu répandu.

● Longévité/fiabilité

La technologie étant récente, il est difficile de définir la longévité du Blu-ray. Une étude du Laboratoire

national de métrologie et d'essais (LNE), publiée en juin 2012, pour les Archives de France, a toutefois révélé de fortes disparités entre les produits des principales marques (Sony, JVC, Maxell, Panasonic et Verbatim). Exposés, lors d'un test de vieillissement accéléré, à une température de 80°C et une humidité relative de 80 %, les disques Panasonic et Sony, tous deux de technologie HTL, ont montré de faibles taux d'erreurs jusqu'à 1750 et 2000 heures de test (durée maximale du test). A l'inverse, les disques de JVC et de Verbatim, de technologie LTH, n'ont pas résisté au-delà, respectivement, de 250 et 500 heures d'épreuve. *"Ces résultats semblent indiquer que les meilleurs disques conserveront les données gravées sans erreur pendant plusieurs dizaines d'années, soit au-delà des meilleurs DVD-R. Et que la technologie LTH ne peut être recommandée pour l'archivage numérique"*, résume Jacques Perdureau, coordinateur R&D du LNE. Les tests ont aussi montré que le Blu-ray semble moins sensible à la lumière que le DVD.

● Vitesse

Les graveurs et disques Blu-ray enregistrables permettent des vitesses de gravure jusqu'à 12x, ce qui permet de remplir une galette de 25 Go en environ onze minutes à un débit de 35,8 Mo/s.

● Sécurité

Elle est identique à celle du DVD.

● Conclusion

Avec une durée de vie au moins comparable à celle du DVD pour une capacité supérieure, le Blu-ray est adapté pour l'archivage de longue durée de photographies et de vidéos. La vitesse de gravure le rend en revanche mal adapté pour les collections qu'il faut mettre à jour fréquemment.



SAUVEGARDER SUR... **Mémoire flash** (clé USB, disque SSD)

● Principe de fonctionnement

Les mémoires flash sont composées de semi-conducteurs. L'information est stockée sous forme d'électrons qui restent piégés dans des transistors, sans avoir à maintenir une alimentation électrique. Deux technologies sont utilisées : la SLC (*Single-level cell*), qui permet deux niveaux de charge par cellule (soit un bit de stockage) et la MLC (*Multi-level cell*), qui autorise jusqu'à huit niveaux de charge par cellule (4 bits). On trouve la mémoire flash dans les clés USB et les cartes mémoire pour appareils photos et caméras numériques (CompactFlash, carte SD). Ainsi que dans les disques SSD (*Solid-state drive*), plus rapides que les disques durs magnétiques, mais encore très onéreux.

● Capacité

La capacité maximale des clés USB et des disques SSD externes du commerce s'élève à 256 Go. Les disques SSD internes, installés dans certains ordinateurs portables, atteignent le téraoctet.

● Prix

Les clés USB et disques SSD grand public sont généralement basés sur la technologie SLC, certes moins coûteuse (de 0,8 à plus de 2 euros le gigaoctet, selon les fabricants) que la MLC (entre 2,5 et 3,50 euros le gigaoctet) mais également moins résistante aux usages intensifs.

● Longévité/fiabilité

L'absence de pièces mécaniques dans leur composition rend les mémoires flash très résistantes aux chocs. En revanche, l'écriture et l'effacement des données sont réalisés en mettant les composants sous tension, ce qui engendre une usure et limite donc

le nombre de cycles écriture/effacement à 10 000 pour les puces MLC et à 100 000 pour les SLC. La qualité du contrôleur, qui gère le remplissage des cellules, est déterminante pour la durée de vie, estimée entre cinq et dix ans en moyenne. Certains fabricants, comme l'américain SanDisk, annoncent des longévités supérieures, jusqu'à cent ans pour le Memory Vault, une clé (à plus de 5 euros le gigaoctet) destinée principalement aux photographes. Peu éloquent sur la technologie utilisée dans sa clé, SanDisk précise seulement que cette durée de vie annoncée est calculée sur la base de tests réalisés à 125 °C et extrapolés statistiquement.

● Vitesse

La vitesse en écriture des clés USB 2.0 est de l'ordre de 10 Mo/s. Les clés USB 3.0 parviennent, elles, à dépasser les 50 Mo/s. Quant aux disques SSD avec la technologie SLC, ils peuvent atteindre des vitesses de plus de 300 Mo/s en écriture.

● Sécurité

Comme certains disques durs, les clés USB et disques SSD externes peuvent intégrer une protection logicielle des données à l'aide d'un mot de passe.

● Conclusion

Peu encombrantes et peu fragiles, les clés USB sont adaptées au stockage de capacités inférieures à 256 Go. La montée en capacité des mémoires flash et leur rapidité en font d'excellentes candidates à la succession des disques durs magnétiques. Toutefois, leur prix, quoiqu'en baisse, reste jusqu'à dix fois supérieur et constitue donc encore un réel frein.

Supports de demain

Outre les progrès qui seront réalisés pour améliorer les supports déjà existants, plusieurs pistes de stockages innovants sont d'ores et déjà à l'étude.

DISQUE EN VERRE TREMPÉ

Le Century Disc est une technologie française datant de 1988 dont le prix, jusqu'ici prohibitif (100 euros le disque), a freiné le développement. La technique consiste à graver les données sur un disque en verre trempé, matériau d'une excellente résistance (plusieurs siècles). Ce disque est le seul à être sorti des tests de vieillissement du Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) sans aucune marque ni perte de données après 2000 heures. Le Century Disc est lisible sur les lecteurs DVD conventionnels.

DISQUE HOLOGRAPHIQUE

Si les CD, DVD et Blu-ray n'utilisent que la surface du disque pour stocker les données (jusqu'à 4 couches), le disque holographique exploite tout le volume, poussant la capacité jusqu'à plusieurs téraoctets. Le stockage dans la masse est réalisé par deux faisceaux laser convergents qui modifient les propriétés physico-chimiques du polymère ou des cristaux photosensibles du disque.

DISQUE DE SAPHIR

Graver un disque de saphir synthétique, issu d'un laboratoire du CEA-Léti, consiste à inscrire les données de façon analogique à la surface du disque. Pas de codage, pas de compression, donc plus aucun risque d'obsolescence du système de lecture. Cette forme sophistiquée de "microfiches" est idéale pour le stockage de textes ou d'images, avec une capacité équivalente à 10 000 pages au format A4. Arnano, le fabricant, annonce une longévité de 2000 ans et vise les professionnels ayant des données sensibles (formules chimiques, plans de centrale nucléaire...). Le prix : de 3500 à 10 000 euros l'unité.



Chaque mois, La Boutique *Science&Vie* sélectionne pour vous des livres, idées cadeaux et des objets scientifiques ou insolites.

La boutique
SCIENCE & VIE

www.laBoutiqueScienceetVie.com

www.laBoutiqueScienceetVie.com

À coup de baguette magique...

Contrôlez votre télévision ou tout autre appareil à infrarouge, comme un lecteur DVD ou une chaîne Hi-Fi! Il vous suffit de programmer cette très belle baguette, pour que d'un petit coup vers le haut ou vers le bas, elle change de chaîne TV, un tour en rond, elle augmente le volume, etc... Jusqu'à 13 tours de main à programmer!



Baguette « magique » Kymera

The Wand Company. Dim. 35,3 cm (l) x 2,4 cm (Ø). Livré avec piles. Télécommande universelle programmable sans bouton. Très belle qualité de fabrication. Instrument de contrôle nécessitant maîtrise et entraînement. Livrée dans un coffret cadeau en « simili cuir de dragon ». Compatible avec tous les équipements contrôlés par infra-rouge.

La baguette
70,90 €
seulement

FRAIS D'ENVOI OFFERTS

Vidéo explicative
sur notre site web!



Un classique scientifique à offrir

Vous le savez sans doute, ce pendule de Newton illustre les théories de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie. Et en plus, avec son socle en bois et ses billes de gros diamètre, c'est un bel objet de décoration.

Pendule de Newton Deluxe

Dim. 18 x 17,5 x 12 cm. Socle noir en bois. Métal argenté. Bille diam. 1,8 cm.

LE PENDULE
19,90 €
seulement

Un écosystème testé lors de vols dans l'espace !

Développée par la recherche spatiale, cette élégante sphère en verre cache un écosystème miniature, complètement autonome, qui renferme les fonctions fondamentales au développement de la vie. Sans aucune intervention humaine, il est composé de crevettes et d'algues à une durée de vie de 4-5 ans!



Bioglobe Sphère Gorgone

Sphère en verre, Ø 12,5 cm. Contient : crevettes hawaïennes (nom scientifique : rubra), coquillage, gorgone, algues et cailloux.

Testé par la Nasa!

135 €
seulement

ENVOI EN 72H OFFERT!

POUR COMMANDER ET S'INFORMER

www.laboutiquescienceetvie.com

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à
La Boutique SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 002 ÉVREUX CEDEX

01 46 48 48 83 Paiement en 3 fois sans frais
dès 99€ d'achat!

(Paiement par CB uniquement)

BON DE COMMANDE

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Bioglobe Sphère Gorgone 12,5 cm	365.262	x	135 €	= €
Pendule de Newton deluxe	365.189	x	19,90 €	= €
Baguette « magique » Kymera	365.197	x	70,90 €	= €
SOUS-TOTAL				€
FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)				
<input type="checkbox"/> Envoi normal				5,90 €
<input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 39€				GRATUIT
<input type="checkbox"/> Envoi Colissimo suivi (72 h)				8,90 €
<input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 75€				Envoi 72h OFFERT
Frais d'envoi offerts dès 39 € de commande!				
TOTAL				€

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/01/2013. Délai de livraison des produits : maximum 3 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (4 jours max.). Selon l'article L121-20 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 7 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo déseillés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

À RENVoyer DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À :
LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 002 ÉVREUX CEDEX

> Mes coordonnées

☐ M. ☐ M^{me} ☐ M^{lle}
Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

Complément d'adresse _____
(résidence, lieu-dit, bâtiment)

CP _____ Ville _____

Tél. _____

Grâce à votre N° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre commande.

E-mail _____

☐ Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori)

> Mode de paiement

☐ Je joins mon chèque bancaire ou postal à l'ordre de **SCIENCE & VIE**

☐ Par carte bancaire : N° _____

Expire fin : ____/____/____

Cryptogramme _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

256826



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES



Pourquoi certaines personnes sont-elles sensibles aux ondes électromagnétiques ?

Il n'y a pas encore de réponse bien établie à cette question. Il n'est même pas sûr que les personnes qui s'en plaignent soient réellement sensibles aux ondes électromagnétiques. Certes, ces personnes et les associations qui les défendent affirment que les symptômes dont elles souffrent (rougeurs, picotements, fatigue, difficultés de concentration, palpitations cardiaques, troubles digestifs...) sont dus aux ondes électromagnétiques émises par les téléphones portables, les antennes relais, le wi-fi, les lignes haute tension et pratiquement tous les appareils

Question de P. Ricouard, Ferrières-en-Gâtinais (45)

émetteurs. Mais nombre de scientifiques (et les opérateurs de téléphonie) soutiennent que les ondes n'y sont pour rien, attribuant surtout à cette "électrohypersensibilité" (EHS) une origine psychologique. Lever le voile sur les vraies causes de la maladie est donc plus complexe qu'il n'y paraît. Techniquement et socialement.

IL N'Y A AUCUNE PREUVE...

A commencer par la caractérisation même de la maladie. Cette "hypersensibilité électromagnétique", décrite pour la première fois en Suède au début des années 1980, touche de 1,5 à 13 % de la population française, selon les symptômes et les degrés de sévérité pris en compte. A ce jour, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et les autorités médicales françaises reconnaissent officiellement les souffrances des patients, mais pas le lien avec une exposition aux ondes électromagnétiques. Pourtant, l'hypothèse selon laquelle certains champs magnétiques de grande intensité (lignes à haute tension) puissent perturber notre organisme est

acceptée par de nombreux chercheurs. Sauf que "depuis 2005, aucun auteur n'a apporté la preuve d'une relation de causalité entre l'exposition et l'EHS", souligne le rapport 2009 de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset), "Expertise collective relative aux radiofréquences", le plus récent sur le sujet.

L'OMS et l'Afsset s'appuient sur des dizaines d'expériences réalisées ces deux dernières décennies, qui consistent à recueillir les troubles ressentis par des personnes atteintes lorsqu'elles sont mises en présence d'un dispositif émetteur allumé ou éteint sans que l'expérimentateur et la personne testée sachent s'il est en marche ou non (étude en "double aveugle"). Or, jusqu'ici, aucune étude sérieuse n'a montré que les "électrosensibles" sont capables de percevoir la présence d'ondes électromagnétiques. Toutes ont donc échoué à établir un lien entre exposition et troubles. Les rares études qui suggèrent le contraire présentent toutes des faiblesses →

⚡ **Aucun lien n'a pour l'instant été établi entre l'électrohypersensibilité déclarée de certaines personnes et la présence d'antennes relais.**





→ méthodologiques qui les discréditent. *“La subjectivité, la complexité et la non-spécificité des symptômes cliniques, et la quasi-négativité des études de provocation conduisent légitimement à se demander si l'EHS n'est pas un trouble psychosomatique”*, conclut l'Afsset.

...NI D'OUTIL DE DIAGNOSTIC

Mais voilà, l'absence de preuve n'est pas la preuve de l'absence... *“D'autres études sont nécessaires”*, selon le neurologue Jean-Pierre Marc-Vergnes, co-auteur du rapport. Car il n'est pas exclu que l'EHS découle de plusieurs facteurs biologiques, psychologiques ou psychosociaux simultanés. Il faudrait donc examiner minutieusement diverses causes possibles. Sachant qu'il reste aussi des hypothèses à creuser, *“comme la possibilité d'une réactivité plus élevée du système nerveux central des électrosensibles”*, précise le neurologue. Pour réaliser ce type d'étude, il faudra surmonter deux obstacles. *“Mettre au point un système permettant de mieux*

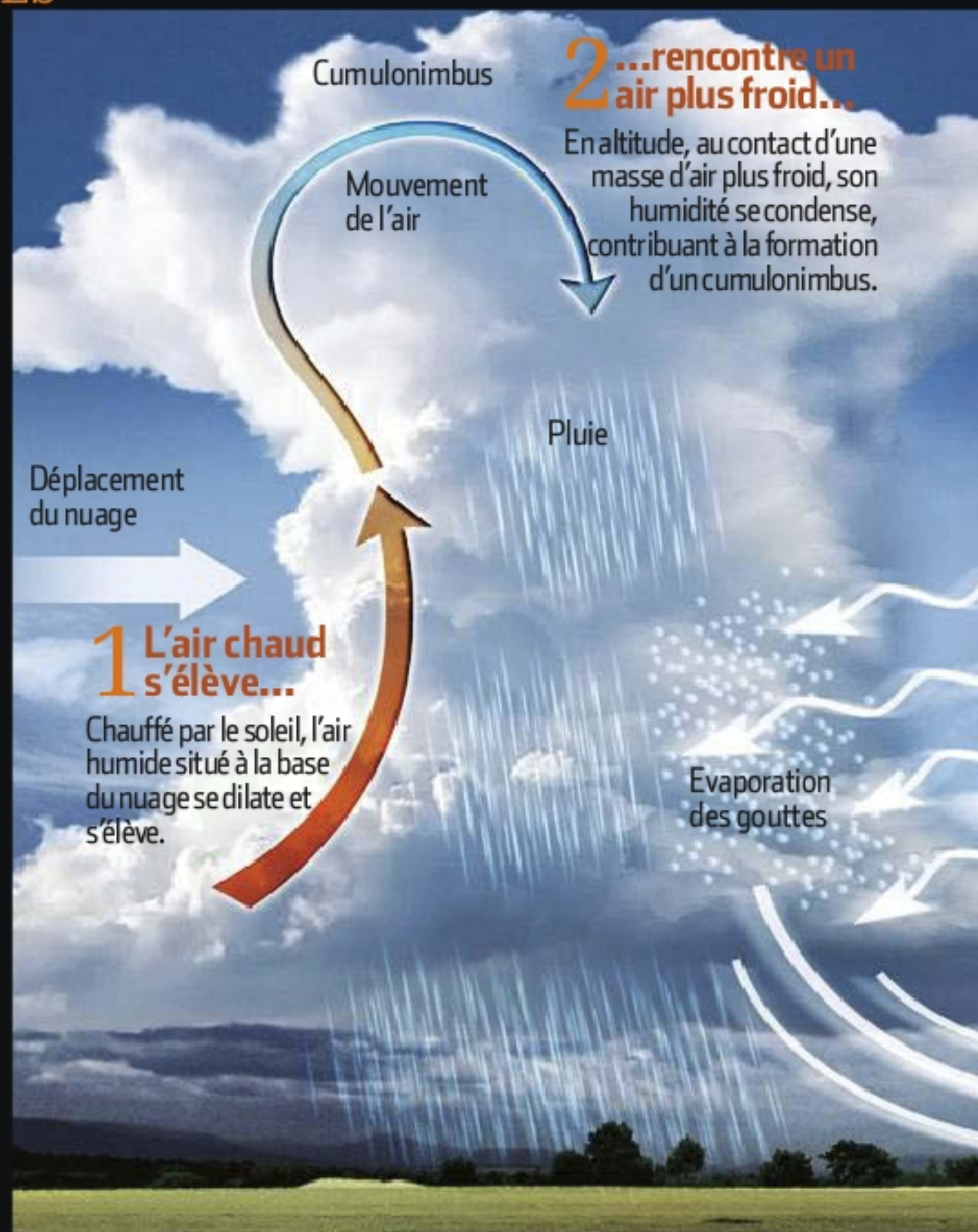
analyser les caractéristiques des ondes électromagnétiques susceptibles d'avoir des effets sanitaires autres qu'un échauffement des tissus vivants, détaille Jean-Pierre Marc-Vergnes. *Et développer un outil de diagnostic objectif pour mieux distinguer les personnes réellement électrosensibles...* Le seul diagnostic disponible à ce jour étant l'affirmation par les patients eux-mêmes de leur électrosensibilité... Enfin, à toutes ces difficultés s'ajoute le manque de financement. D'autant plus cruel que pour les opérateurs et les autorités de santé, la preuve de l'innocuité semble faite.

Voilà pourquoi les médecins préfèrent axer leurs efforts sur le développement d'un protocole de prise en charge spécialisée des patients. Dans ce but, a été lancée en février une vaste étude pilotée par l'hôpital Cochin, à Paris, visant à suivre pendant un an des électrosensibles à travers 24 centres. Une étude critiquée par les associations qui préféreraient qu'on se concentre sur l'analyse des causes. **K.B.**

DEUX AUTRES SYNDROMES TOUT AUSSI ENIGMATIQUES

Tout aussi mystérieuse que l'électrohypersensibilité (EHS) est l'intolérance aux odeurs chimiques. Elle se manifeste par des maux de tête, nausées ou vertiges chez des personnes exposées de façon chronique à de faibles concentrations de produits chimiques non toxiques. L'OMS propose de l'associer à l'EHS dans la rubrique des intolérances environnementales “idiopathiques” (de cause inconnue).

Autre syndrome aussi énigmatique: le syndrome du bâtiment malsain (SBM), caractérisé par une irritation de la peau, du nez, de la gorge, des yeux, des maux de tête, etc. Lui aussi reste médicalement inexpliqué. A ce jour, les scientifiques soupçonnent les contaminants chimiques et biologiques de l'air urbain et/ou des matériaux du bâtiment lui-même. Mais sans certitude.



A quoi est dû le vent qui se lève juste avant la pluie?

Question de F. Hureaux, Le-Kremlin-Bicêtre (92)

Au fait qu'il pleut déjà... en altitude! Cette rafale d'air frais, qui soulève les poussières et fait bruisser les feuilles en même temps que le ciel s'assombrit, naît souvent à la fin d'une journée estivale, sous le nuage le

plus dense et le plus épais, doté du plus grand développement vertical du bestiaire météorologique: le cumulonimbus. Lorsque l'air humide des basses couches de l'atmosphère, chauffé par le soleil, se dilate, il entame

3...forme des gouttes de pluie qui tombent...

Ces gouttelettes nourries par l'humidité du nuage grossissent... et tombent: il pleut en altitude. Si, en descendant, elles rencontrent alors un air plus sec et chaud, elles vont de nouveau s'évaporer.

Filets d'air sec

4...refroidissant l'air qui s'étale au sol

En s'évaporant, elles refroidissent l'air autour d'elles. Cet air frais, plus dense, va alors chuter brutalement vers le sol où il s'étale, formant une rafale de vent.

Rafale de vent

une irrésistible ascension. En altitude, il rencontre des masses d'air froid et se condense, donnant naissance à ces fameux cumulonimbus. Au centre de ce nuage, de minuscules gouttelettes d'eau, à force de grossir, nourries par l'humidité ambiante, finissent par chuter sous l'effet de la gravité: il pleut. Et cette machine à produire de la pluie s'auto-entretient tant qu'elle trouve de l'air chaud et humide pour l'alimenter... *"Ça, c'est la théorie, mais dans la réalité, les courants d'air chaud et d'air froid au sein du cumulonimbus sont très désordonnés, précise Etienne Kapikian, prévisionniste à Météo France. Au-delà de ces grands courants que l'on*

a l'habitude de schématiser, il existe une multitude de petits phénomènes locaux." Ainsi, des masses d'air chaud et humide peuvent remonter en tourbillonnant comme des bulles dans une casserole d'eau bouillante, fendant les courants froids; ou bien des filets d'air chaud et sec ne cessent de s'infiltrer par la base et les bords du nuage...

CE VENT PEUT DÉPASSER 100 KM/H

Dans ce grand mélange turbulent, les gouttes ont la vie dure: elles peuvent se scinder de nouveau en une multitude de gouttelettes à cause de la pression de l'air et stopper leur chute, voire remonter... ou rencontrer un courant d'air chaud et sec sur leur trajet. Dans ce cas, la différence de température et d'humidité est trop grande, et les gouttes ne résistent pas: elles s'évaporent. C'est ce phénomène qui est à l'origine des rafales qui naissent sous les nuages. Car le changement d'état de liquide à gaz nécessite de l'énergie que les physiciens appellent "chaleur latente de vaporisation". Les gouttes prennent cette énergie dans l'air environnant, qui se refroidit localement. Un petit volume d'air frais, donc plus dense, se met alors à descendre rapidement jusqu'au sol, où il finit par s'étaler, formant ce qu'on appelle un front de rafale et une multitude de tourbillons: un vent qui peut dépasser les 100 km/h et se propager sur quelques kilomètres. Et comme ce vent avance avec le nuage, il laisse juste le temps de trouver un abri avant l'arrivée de la pluie. **M.F.**

Quand on est sourd, pense-t-on en langage des signes?

Question de Franck Lorriaux, Paris 19^e

Votre question est d'autant plus intéressante qu'elle amène à se demander s'il est possible de construire une pensée à partir d'autre chose que le mot, comme élément sonore, tel que les entendants le conçoivent. Car nous possédons tous une petite voix intérieure qui nous permet de structurer nos idées.

Selon Olivier Sacks, neurologue et écrivain à New York, le problème n'est pas le même pour les sourds postlinguaux, ayant perdu l'ouïe après avoir appris les rudiments du langage oral, que pour les sourds prélinguaux. Car un sourd postlingual continue d'associer les images aux sons, comme s'il les traduisait. Tandis qu'une personne sourde de naissance, qui n'a donc jamais eu d'expérience auditive, en est incapable: *"Pour eux, la lecture sur les lèvres – comme d'ailleurs, la lecture ordinaire – est une expérience totalement visuelle; ils voient la voix."* Ils ont donc besoin d'une langue visible pour

communiquer, mais surtout pour formuler une idée dans leur esprit, en visualisant mentalement de petits signes. Ce que leur permet la langue des signes produite à la fois par les mains, les expressions du visage et les mouvements du corps.

UNE VUE INTÉRIEURE

Pas de voix intérieure, donc, mais une vue intérieure. Pourtant, considérés comme des débilés mentaux, les "sourds-muets" ont été laissés sans éducation pendant des milliers d'années. Ce que Olivier Sack explique: *"L'incapacité dans laquelle ils se trouvent d'entendre la voix de leurs parents expose les sourds prélinguaux au risque d'être sévèrement retardés, si ce n'est définitivement déficients, quand des mesures précoces et efficaces ne sont pas prises."* La langue des signes est donc fondamentale à la formulation d'une pensée pour les sourds, et surtout à leur développement intellectuel. **M.K.**

GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous!

Nous ne pourrions répondre à toutes et à tous, mais les auteurs des questions que la rédaction sélectionnera se verront offrir un abonnement d'un an à Science & Vie (pour eux-mêmes ou pour une personne de leur choix). La question doit impérativement être rédigée sur une carte postale.

SCIENCE & VIE, QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Ory, 92543 MONTRouGE CEDEX.

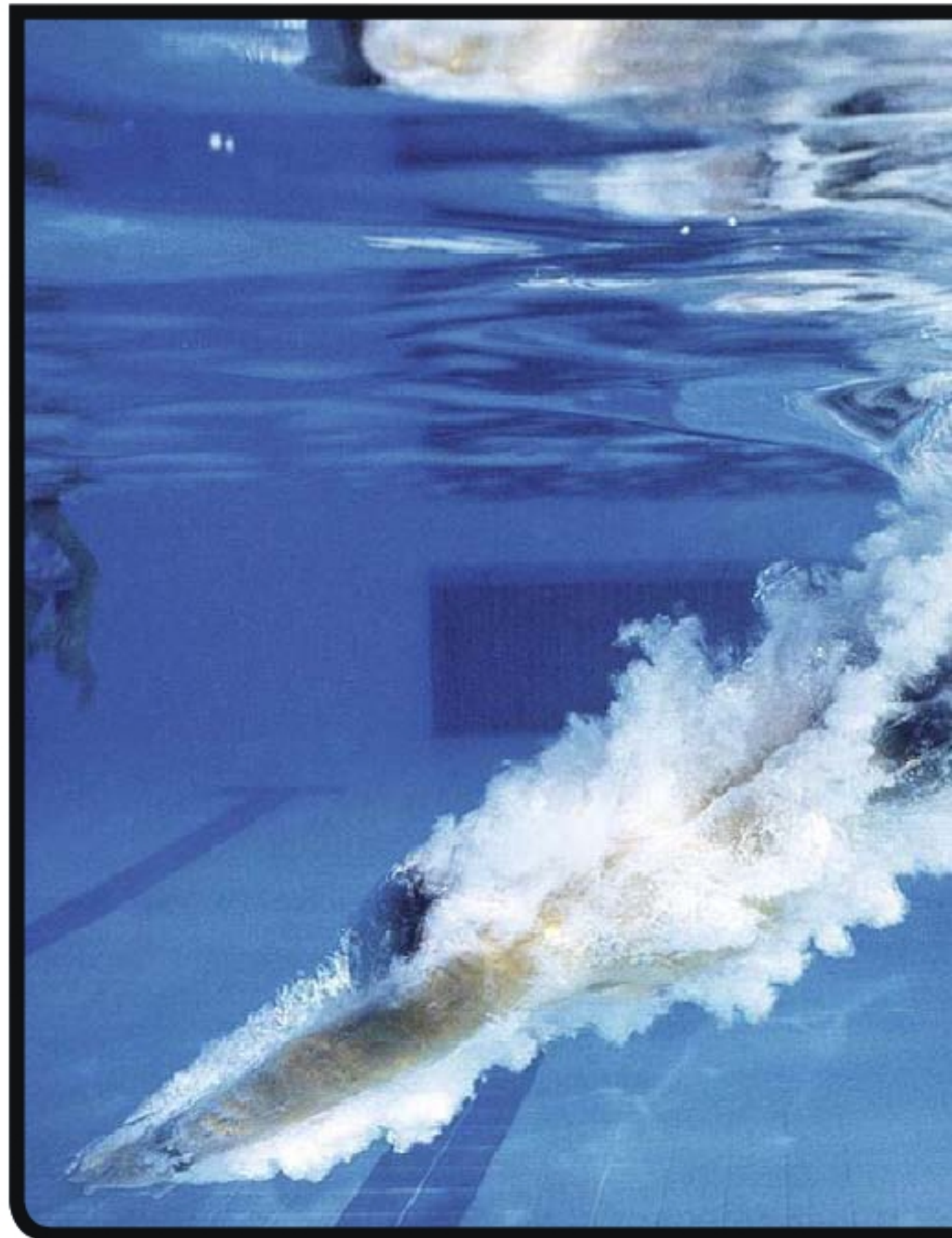


Pourquoi les ongles de pied poussent-ils moins vite ?

Question de Cécile Greinhofer, Clamart (92)

Votre question met les scientifiques dans l'embarras : *"Aucune hypothèse ne tient la route pour expliquer ce phénomène"*, avoue Robert Baran, dermatologue au Centre de diagnostic et traitements des maladies des ongles (Cannes). Car les faits sont là : la vitesse de croissance d'un ongle de main chez un jeune adulte est de 3 à 4 mm par mois ; et celle du gros orteil 2 à 3 fois plus lente. Mais *"ce n'est pas vrai pour tout le monde. Si certains ongles de pied poussent moins vite en longueur, ils s'épaississent davantage"*,

souligne Claire Gosselin, pédicure-podologue à Verrières (Essonne). Et *"certaines maladies accélèrent la croissance de l'ongle, quand d'autres la ralentissent ou l'arrêtent"*, complète Robert Baran. Dans la mesure où la pousse des ongles ralentit chez les personnes âgées, il a été émis l'idée que ce serait dû à la déshydratation (sécheresse cutanée) liée au vieillissement. Alors, faut-il s'hydrater pour faire pousser ses ongles plus vite ? Non : l'apport d'eau externe n'atteint pas, et donc n'agit pas sur la racine de l'ongle. **L.B.**



Est-il normal d'oublier ses premiers souvenirs d'enfance ?

Question de Katherine Toumpsin, Ath (Belgique)

Curieuse amnésie infantile, en effet. Ce phénomène, déjà observé par Freud, semble effacer les souvenirs antérieurs à l'âge de 3 ans et demi environ. Cette incapacité à nous rappeler notre plus tendre enfance varie toutefois beaucoup selon les personnes.

Jusque dans les années 1980, les neuroscientifiques pensaient que les très jeunes enfants ne possédaient aucune capacité de mémoire

épisode, dite aussi "autobiographique". Ils pensaient que cette forme de mémoire à long terme nécessitait l'acquisition du langage, la capacité de nommer les choses pour les assimiler. Depuis, des méthodes non verbales ont été développées pour tester la mémoire des bébés, comme celle de la psychologue américaine Patricia Bauer. Elle a présenté une suite d'actions simples visant à créer une

mélodie à un enfant, qui devait les reproduire pour aboutir au même résultat. Bilan : un enfant de 9 mois peut se souvenir d'un événement jusqu'à un mois plus tard !

UN HIPPOCAMPE IMMATURE

D'autres expériences ont montré que, dès 6 mois, les enfants développent des souvenirs. Alors, pourquoi disparaissent-ils peu à peu pendant ces premières années ? Les neurologues ont du mal à l'expliquer. Le lobe temporal serait en cause, et plus

précisément l'hippocampe, zone essentielle de notre mémoire. Plusieurs études comparant des enfants de 12 mois à 14 ans avec des patients atteints de lésions de l'hippocampe laissent penser que celui-ci n'aurait pas fini de se développer avant la fin de la tendre enfance... dont l'âge reste très disputé. *"Chez les enfants plus âgés, vers 10 ans, les souvenirs des premières années ont disparu, mais les événements plus récents sont mieux mémorisés et de manière permanente"*,



◀ L'inertie de l'eau, c'est-à-dire sa résistance au déplacement, est d'autant plus grande que l'on y pénètre vite.

Quand on plonge de haut, d'où vient que l'eau semble "dure" ?

Question Guillaume de Beauregard, Guer (56)

On entend souvent dire que l'eau devient dure comme du béton si on y plonge de trop haut, et donc à une vitesse trop élevée. Et c'est exact. L'eau frappera vos pieds, vos mains ou votre torse d'autant plus violemment que vous aurez sauté d'une grande hauteur.

Pourquoi ? La faute à l'inertie de l'eau, autrement dit, à sa résistance au déplacement. Car pour que votre corps y pénètre, l'eau doit lui céder la place. Si les fluides ont cette capacité, elle ne se met pas en œuvre instantanément. Quand votre corps entre dans l'eau,

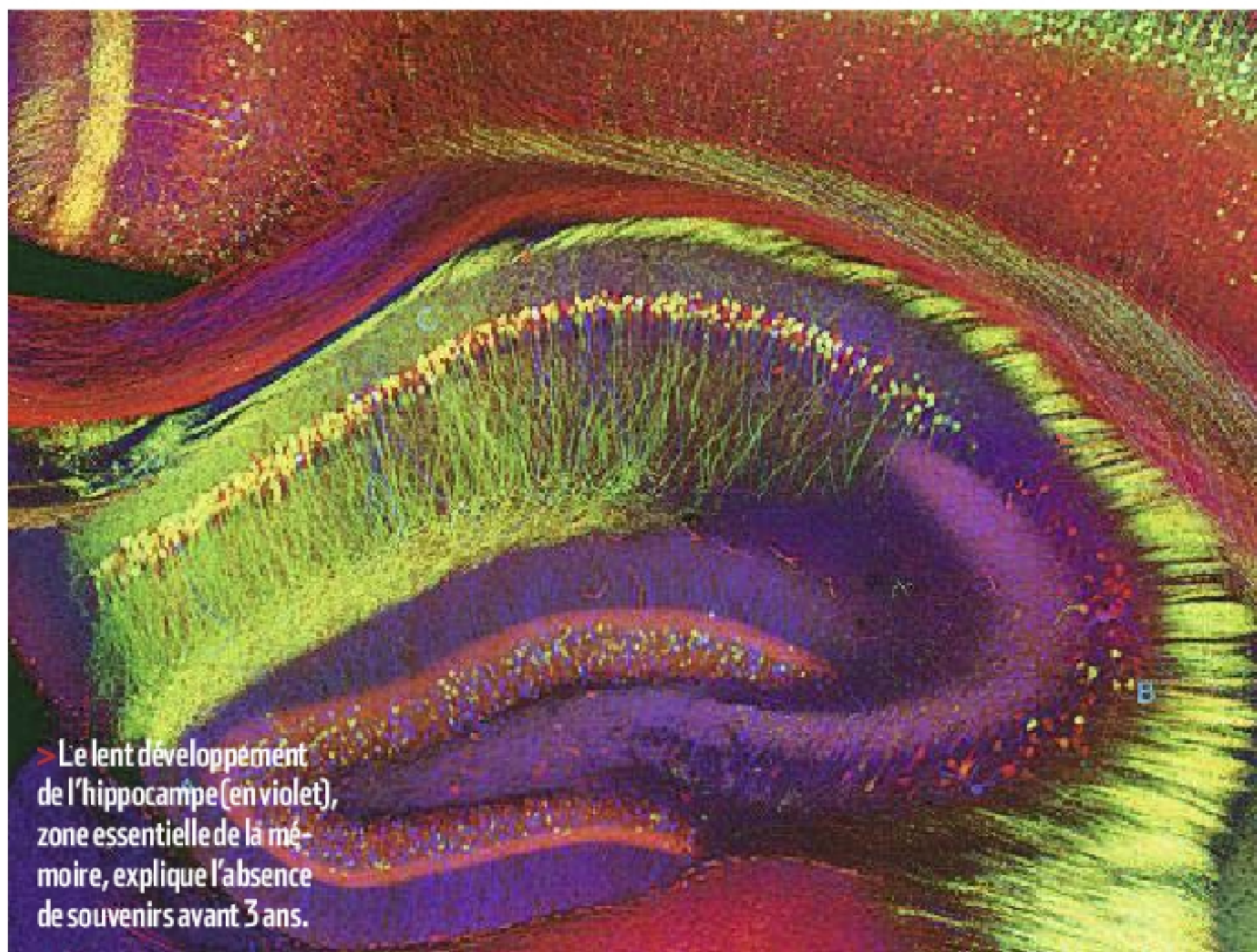
celle-ci doit passer d'une quasi-immobilité à une vitesse égale à la vôtre. Or, selon une loi établie par le physicien Daniel Bernoulli, en 1738, la pression à appliquer à un fluide pour le mettre en mouvement est proportionnelle à sa masse volumique multipliée par la vitesse... au carré. Ainsi, plus le plongeur tombe de haut et plus il va vite, plus grande est la pression qu'il doit exercer pour se frayer un passage dans l'eau. Passage qui s'ouvrira d'autant plus facilement qu'il entrera dans l'eau en présentant la plus petite surface d'impact

possible. Ainsi, à vitesse égale, un plongeur pénétrera aisément dans l'eau par la pointe des mains jointes, tandis que s'il se présente à plat, la pression répartie sur une plus grande surface ne sera pas suffisante pour mettre l'eau en mouvement : le choc sera dur, la force de l'action (exercée par le plongeur) étant égale à la force de réaction (résistance de l'eau à se mettre en mouvement).

Pour réduire ce phénomène lors des compétitions de plongeon, l'impact est adouci par l'injection d'air dans l'eau, juste avant le saut. Ce mélange eau/bulles a une masse volumique plus faible et offre une moindre résistance à l'accélération. J.M.

remarque Carole Peterson, chercheur à la Memorial University (Canada), qui a questionné des petits enfants lors de leur admission aux urgences. Interrogés à nouveau un an, puis encore 12 mois plus tard, seuls les enfants les plus grands se souvenaient correctement de leur prise en charge.

Le développement progressif de l'hippocampe éclairerait aussi la partialité des premiers souvenirs. Ainsi, on se souvient de la voiture pour partir en vacances, mais plus de sa couleur. Pour Patricia Bauer, l'immaturation de notre réseau neuronal explique la fragilité de notre mémoire et les difficultés de restitution. Même si les souvenirs sont correctement encodés. A.D.



> Le lent développement de l'hippocampe (en violet), zone essentielle de la mémoire, explique l'absence de souvenirs avant 3 ans.



La lentille souple qui va révolutionner la prise de vue

Pour des photos nettes, fini les lentilles mobiles : ici, c'est une lentille unique, inspirée du cristallin de l'œil, qui fait le point toute seule. Une solution idéale pour les smartphones !

Et si les objectifs photo allaient bientôt faire leur révolution grâce au marché du... smartphone ? C'est, en tout cas, ce que laisse penser cette lentille d'un nouveau genre qui devrait équiper une série de premiers téléphones-appareils photo dans les prochains mois. Sa particularité ? Elle est capable de

changer de forme pour faire converger les rayons lumineux à la distance focale voulue. Autrement dit, elle fait le point toute seule ! Une vraie rupture technologique dans le domaine de la photographie car jusqu'ici, depuis leurs inventions, les objectifs ont toujours fonctionné suivant le même dispositif : ils modifient le plan de netteté d'une image en déplaçant des lentilles rigides.

LA NETTETÉ, MAIS AUSSI ROBUSTE ET SILENCIEUSE

Un principe qui remonte aux premières lunettes astronomiques du XVI^e siècle ! Même les systèmes autofocus actuels les plus perfectionnés se contentent d'automatiser ce mécanisme immuable.

Seulement, à l'heure où les appareils photo et smartphones se doivent d'être toujours plus miniaturisés tout en continuant à délivrer des images de qualité au minimum satisfaisante, ce dispositif traditionnel fait sentir ses limites en termes d'encombrement, de robustesse, de réactivité, de bruit, mais aussi de consommation d'énergie... Pour contourner

tous ses inconvénients, plusieurs ingénieurs, notamment au sein de l'entreprise française Varioptic, ont imaginé dans les années 2000 de s'inspirer de la nature et plus précisément du cristallin de l'œil, pour compacter leurs futurs objectifs. La lentille naturelle de notre œil modifie en effet son angle de courbure afin de former une image nette sur la rétine, quelle que soit la distance d'observation de l'objet (c'est ce qu'on appelle le phénomène d'accommodation). Partant de ce principe, les ingénieurs ont décidé de construire une seule lentille "intelligente" capable de faire la mise au point (à la place d'un groupe de lentilles nécessitant un ajustement précis). Restait à trouver la meilleure technologie pouvant réaliser cette prouesse, tout en étant adaptable au marché de la prise de vue grand public. Dès 2002, Varioptic présente des premières lentilles adaptatives, qui changent de forme grâce à un cœur liquide. Le principe fonctionne mais les applications en photographie restent limitées en raison d'une qualité d'image insuffisante.



▲ La miniaturisation destine d'abord ce système aux smartphones. Il consomme peu, et la mise au point sera 25 fois plus rapide qu'avec un appareil classique.

Même scénario avec une seconde lentille lancée en 2010 par la société américaine LensVector, qui est basée, elle, sur un réseau de cristaux liquides orientables, mais qui n'offre pas une luminosité suffisante pour se généraliser.

Finalement, c'est la société norvégienne poLight, qui concrétise aujourd'hui cette invention pour le grand public, avec cette lentille souple TLens, produite en partenariat avec l'entreprise Texas Instruments. Leur dispositif joue sur la déformation

3 DATES CLÉS

1985

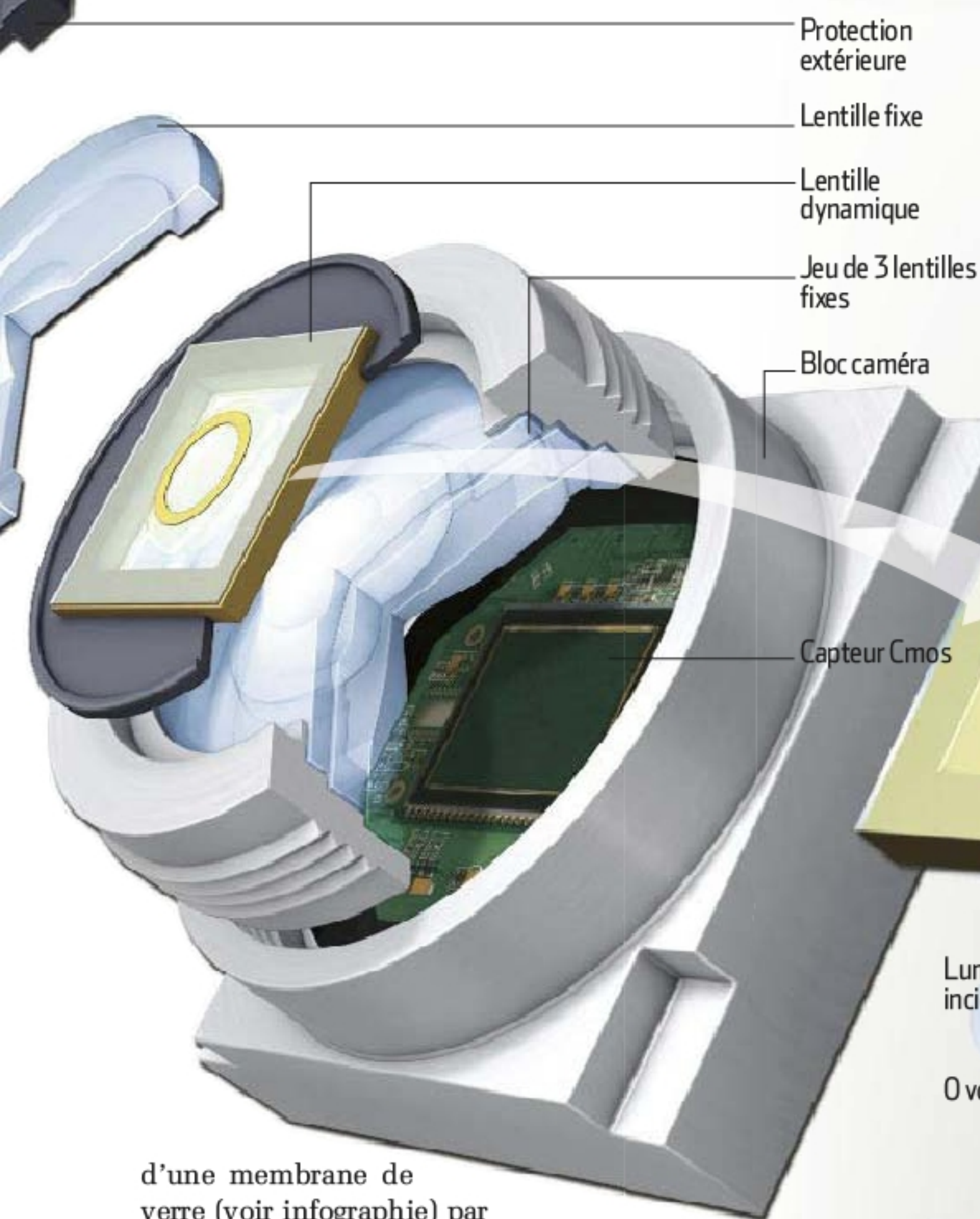
Le constructeur japonais Minolta lance le reflex Dynax 7000 AF, l'un des premiers appareils photos équipés d'un autofocus.

2002

Le fabricant français Varioptic produit les premières lentilles adaptatives, contenant deux liquides non miscibles.

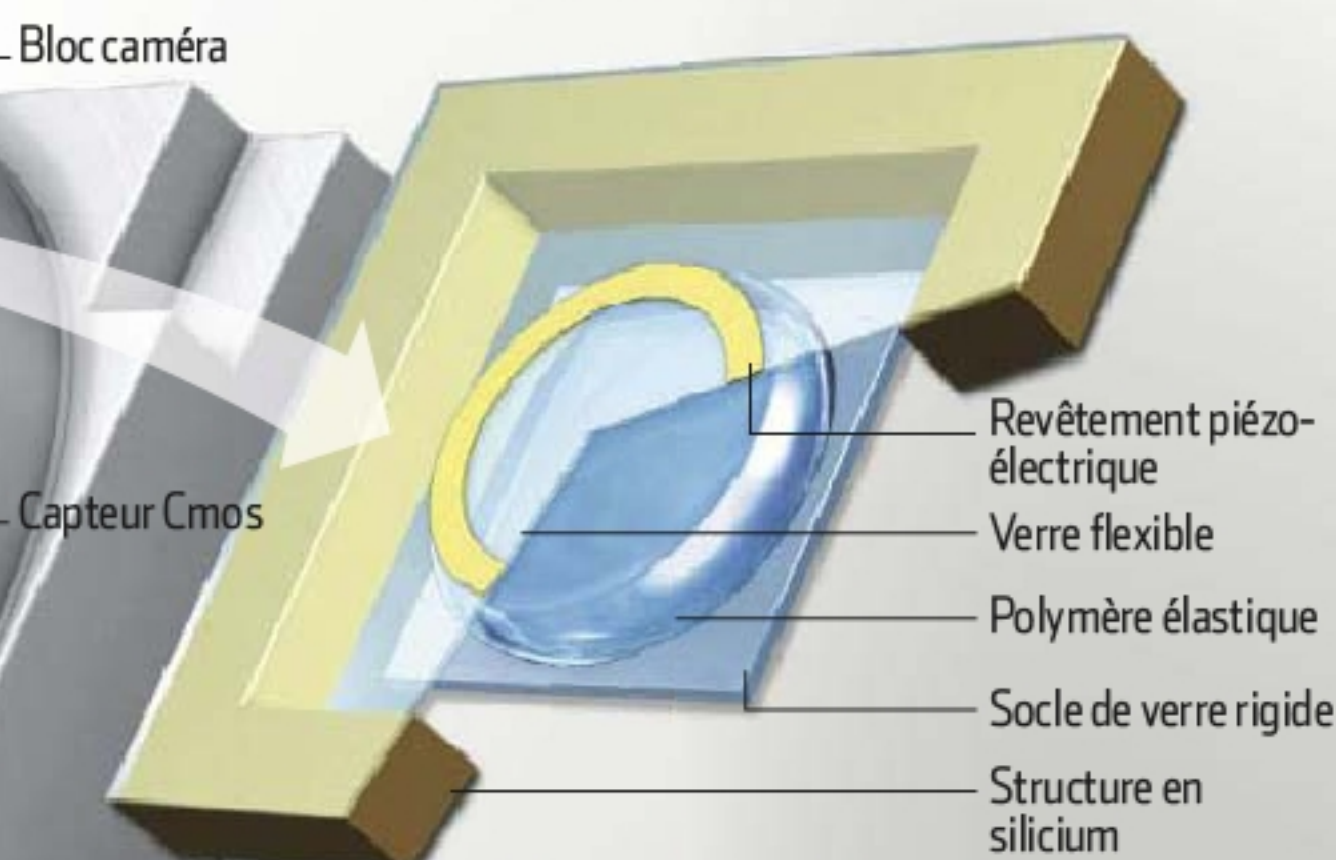
2010

Les lentilles adaptatives à cristaux liquides de l'américain LensVector sont lancées sur le marché de l'électronique grand public.

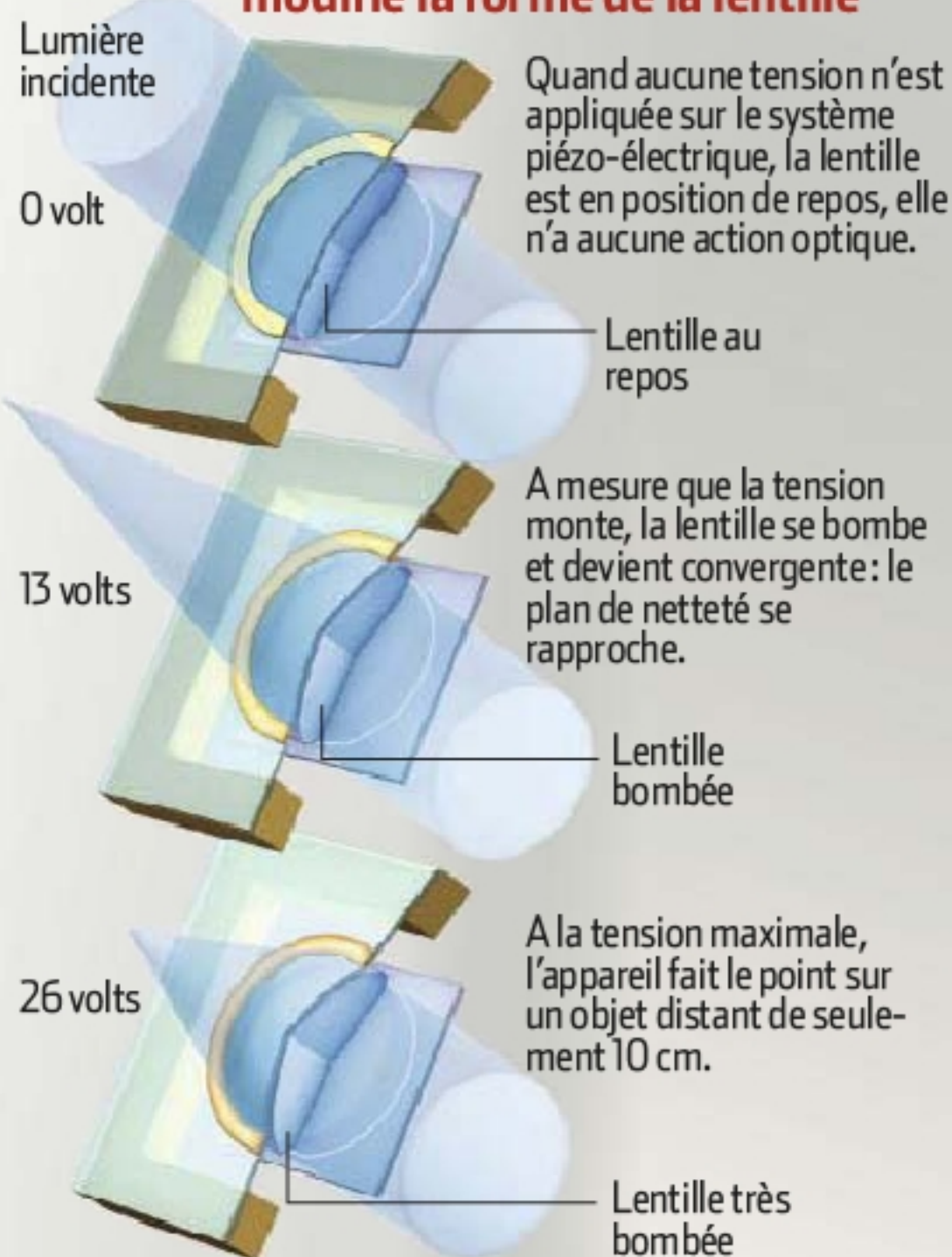


Comment ça marche ?

La lentille dynamique est insérée dans un jeu de lentilles rigides. Elle est coiffée d'une mince lame de verre flexible, sur laquelle un œillet piézo-électrique a été appliqué. Ce système se contracte dès qu'une tension électrique lui est appliquée. Dès lors, il déforme avec lui la lame de verre et la couche polymère qui y adhère. L'ensemble se courbe et forme une lentille plus ou moins "convergente", selon la tension appliquée.



Un système piézo-électrique modifie la forme de la lentille



d'une membrane de verre (voir infographie) par une céramique piézo-électrique pour changer la focalisation. Une fois intégrée dans un module optique, celle-ci concilie qualité d'image, silence de fonctionnement, résistance aux chocs et très faible consommation (de l'ordre de 1 mW). Par ailleurs, cette TLens autorise une mise au point ultrarapide: 25 fois celle d'un autofocus de smartphone classique. A tel point que l'appareil ainsi équipé pourra réaliser, en quelques centièmes de seconde, une rafale d'images avec des mises aux points décalées, sans même que l'utilisateur s'en

aperçoive. Il pourra ensuite les fusionner à volonté pour jouer sur l'effet de profondeur de champ. Selon François Vieillard, directeur marketing de PoLight, ce produit devrait arriver sur le marché des smartphones dans le courant de l'année prochaine. Mais il faudra encore du temps avant de pouvoir adapter cette technologie aux objectifs plus imposants et plus lumineux des appareils photo... Affaire à suivre, donc ! **Julien Bolle**

Prix: non communiqué
Rens.: www.polight.no



Un reflex plein format à viseur électronique

Cet Alpha 99 de Sony est le premier reflex professionnel qui réussit à concilier deux technologies : un capteur plein format 24x36 mm (en l'occurrence, un CMOS de 24,3 millions de pixels) et un viseur électronique (EVF). Il offre ainsi un aperçu en temps réel de l'image, avec la possibilité de superposer des informations utiles sur l'écran. Le viseur est particulièrement soigné puisqu'il propose une résolution de 2,36 Mp (avec une technologie Oled) et couvre 100 % du champ. En parallèle, Sony a joué la carte de la modernité en dotant ce beau bébé (735 g sur la balance sans

objectif!) de perfectionnements spectaculaires : un système autofocus avec 19 collimateurs, dont 11 en croix, une mesure matricielle sur 1 200 points et une cadence rafale de 6 images/seconde (et même 10 i/s en version recadrée). Ainsi structuré, ce reflex se transforme en un redoutable caméscope haut de gamme : le CMOS du boîtier délivre un signal vidéo en full HD de très haute qualité (50 p au format AVCHD 2.0 et aspect cinéma en 24 p). Un bémol : Sony n'a pas prévu de flash intégré! **J.-C.B.**

Prix : env. 2 800 € (boîtier nu).
Rens. : www.sony.fr

LE COIN DES PROTOTYPES

LA SÉRIE DE BOÎTIERS POUR FAIRE DES PANORAMIQUES

Pour son projet de fin d'études en design industriel, le Néerlandais Gordon Joey Tiemstra a réalisé un prototype inédit, nommé Apollon. L'idée ? Dépasser la prise de vues traditionnelle et utiliser plusieurs appareils pour photographier une même scène selon des points de vue et à des moments différents. Chaque unité se compose d'un boîtier ovoïde de conception optique et électronique assez rudimentaire, et d'une télécommande. Grâce à un système magnétique, les boîtiers sont capables de s'attacher les uns aux autres, tout en faisant varier les angles de prise de vues. Une fois les photos prises, ils les mettent en commun par communication radio. Celles-ci pourront ensuite être assemblées sur ordinateur, à l'aide d'un logiciel, pour donner des panoramiques animés très vivants. **J.B.**

Rens. : www.gordontiemstra.nl



LE COMPACT AUX ALLURES DE SMARTPHONE

Ce Nikon Coolpix S800c inaugure une nouvelle tendance : les appareils photo numériques dotés d'un système d'exploitation Android. Si ce compact ne sert bien sûr pas à téléphoner, de dos, il ressemble vraiment à un smartphone. Connecté par wi-fi, l'utilisateur pourra télécharger des applications photo depuis la plate-forme Google Play™ : logiciels de retouche, partage sur les réseaux sociaux, jeux... De face,

c'est un appareil photo assez classique, avec un zoom 10x (équivalent à un 25-250 mm), un grand écran tactile Oled (819 000 pixels sur 8,7 cm de diagonale) et un petit capteur rétro-éclairé de 16 millions de pixels. D'autres fonctions complètent le tableau de bord de ce nouveau venu : on citera le mode GPS intégré, la vidéo en full HD (1080 p) avec son stéréo et le système optique de réduction de vibration. **J.-C.B.**

Prix : env. 380 €.
Rens. : www.nikon.fr



Le Salon de la Photo vu par Sonia Sieff



Se rencontrer, s'informer, s'équiper

**DU 8 AU 12
NOVEMBRE 2012**

PARIS | PARIS EXPO
PORTE DE
VERSAILLES

www.lesalondelaphoto.com

Bon Angle

SCIENCE & VIE

vous offre une
ENTRÉE GRATUITE
(d'une valeur de 11€)

Obtenez votre invitation en vous enregistrant
sur www.InvitationPhoto.com et entrez le code : **SCIE12**

Paris Expo Porte de Versailles - Pavillon 4
Du 8 au 12 novembre 2012 - Horaires d'ouverture : 10h - 19h
Ouverture à 9h le samedi et fermeture à 18h le lundi.





Un hybride haut de gamme

Voici le Fuji X-E1, un nouveau compact hybride à objectifs interchangeables qui affiche des images équivalentes à celles d'un bon reflex expert ! Au-delà de la qualité des objectifs et de la performance du processeur EXR Pro, c'est la nature du capteur qui retient l'attention. En effet, le X-E1 possède un CMOS X-Trans au format APS-C de 16,3 mégapixels. Sa structure, inédite, s'inspire de l'arrangement des grains d'halogénure d'argent d'un film photographique. Autrement dit, une disposition aléatoire des couleurs sur une matrice de 6x6 pixels, qui permet d'éliminer le moiré et les artefacts colorés. Grâce à cette innovation, la lumière reçue par l'objectif atteint directement le capteur, optimisant ainsi la définition des images au point d'autoriser des agrandissements géants : un tirage de 1 m x 1,50 m est envisageable ! Sur le plan fonctionnel, le X-E1 est équipé d'un seul viseur électronique et d'un flash intégré. Un superbe appareil, qui sera souvent associé au nouveau zoom Fujinon XF 18-55 mm f/2,8-4 R LM OIS, muni d'un moteur linéaire très réactif. **J.-C.B.**

Prix : env. 900 € nu, 1500 € en kit. Rens. : www.fujifilm.fr

▼ Au-delà de la qualité des objectifs interchangeables, c'est la structure inédite du capteur de ce Fuji X-E1 qui retient l'attention.



Le sac photo sécurisé

Déclinés en deux tailles (16 et 22 litres) et trois coloris, les Hatchback AW de l'entreprise américaine Lowepro sont de nouveaux sacs photo modulaires, sécurisés et astucieux. Moins typés que les autres sacs photo, ils possèdent un insert photo amovible avec rabat de fermeture et poignées. Il vous permet d'installer et protéger votre

précieux matériel. L'accès à l'appareil se fait par le dos du sac, gage de sécurité. Sitôt cet insert ôté, le Hatchback AW devient un classique sac à dos multi-usages. A noter aussi que ces produits sont munis d'une housse All Weather pour passer entre les gouttes cet hiver. **J.-C.B.**

Prix : à partir de 100 €. Rens. : www.lowepro.com



UN MASTODONTE PARMIS LES TÉLÉOBJECTIFS

C'est le plus imposant des objectifs Nikon ! Ce 800 mm est un super-téléobjectif qui ouvre à f/5,6 et pèse plus de 5 kg.

Il est, bien sûr, doté du système VR de réduction de vibration (même si personne n'osera l'utiliser sans trépied ou monopode, vu son gabarit !) et il résiste aux conditions climatiques extrêmes (eau, poussière). Ce 800 mm couvre un champ de moins de 3°, ce qui en fait un outil idéal pour saisir en gros plan un sujet éloigné (avis aux paparazzis amateurs...). On pourra le combiner avec des doubleurs et extenseurs x1,4 pour en faire soit un 1600 mm f/11, soit un 1200 mm f/8. Il est destiné en priorité aux reflex pros 24x36 de la gamme. **J.-C.B.**

Prix : non communiqué. Rens. : www.nikon.fr

Cher ami lecteur,

Numéro après numéro, nous mettons tout en œuvre pour mériter votre confiance. Et c'est pour cela qu'aujourd'hui nous faisons appel à vous.

Nous souhaiterions vous associer à notre réflexion sur Science & Vie dans le but de réaliser des numéros qui correspondent aussi parfaitement que possible à vos attentes et à celles de tous les lecteurs. Aussi souhaiterions-nous vous donner la parole ! Que pensez-vous de Science & Vie en général ? Et de ce numéro en particulier ? Quels articles vous ont attirés et comment les avez-vous appréciés ?

Lisez votre magazine comme d'habitude et ayez la gentillesse de participer à notre enquête quand vous aurez lu ce numéro, si possible dans les prochains jours.

Pour participer, rendez-vous sur www.enqueteSV.fr

Nous avons vraiment besoin de vos réponses, qu'elles soient critiques ou élogieuses, que vous ayez lu beaucoup d'articles dans ce numéro ou très peu. Votre aide nous est précieuse.

Très cordialement.

Matthieu Villiers
Directeur de la rédaction

LA RÉDACTION DE SCIENCE & VIE A BESOIN DE VOUS !

Que vous connaissiez très bien Science & Vie ou très peu (même si vous le lisez pour la première fois), votre avis nous intéresse !

RÉPONDEZ À NOTRE ENQUÊTE SUR
www.enqueteSV.fr



Pour vous remercier de votre participation à notre étude, un tirage au sort sera organisé. Vous aurez ainsi la possibilité de remporter :

**LE LIVRE "100 merveilles du ciel"
ou LE DVD : "L'univers invisible" !**



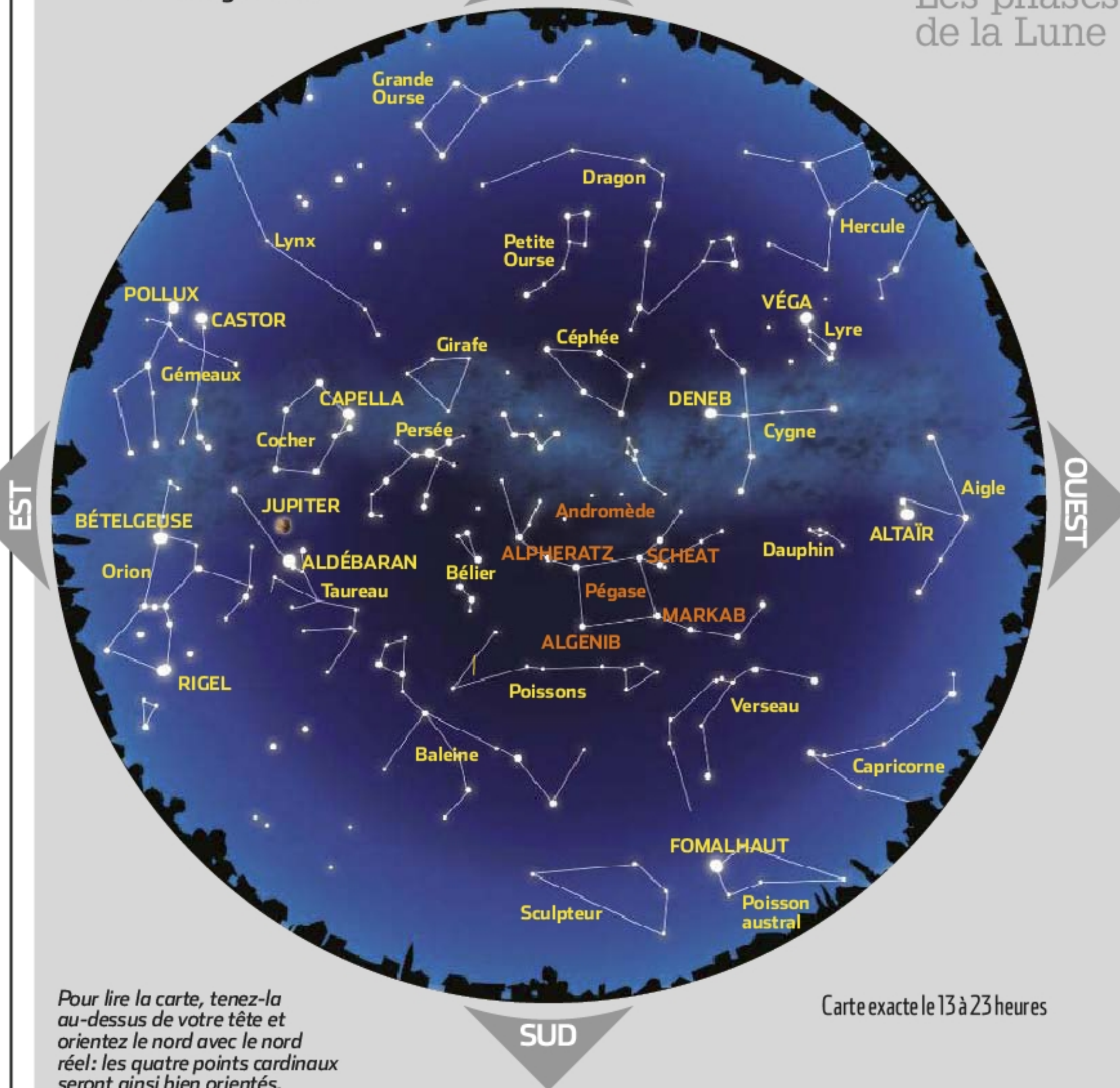
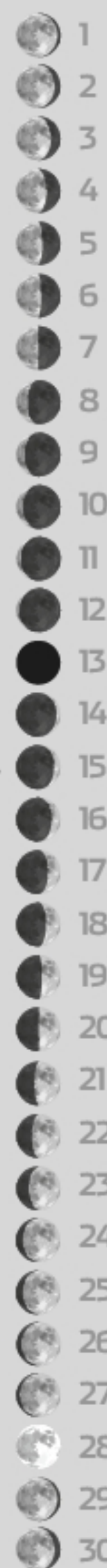
EN PRATIQUE

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

Les phases de la Lune



Pour lire la carte, tenez-la au-dessus de votre tête et orientez le nord avec le nord réel: les quatre points cardinaux seront ainsi bien orientés.

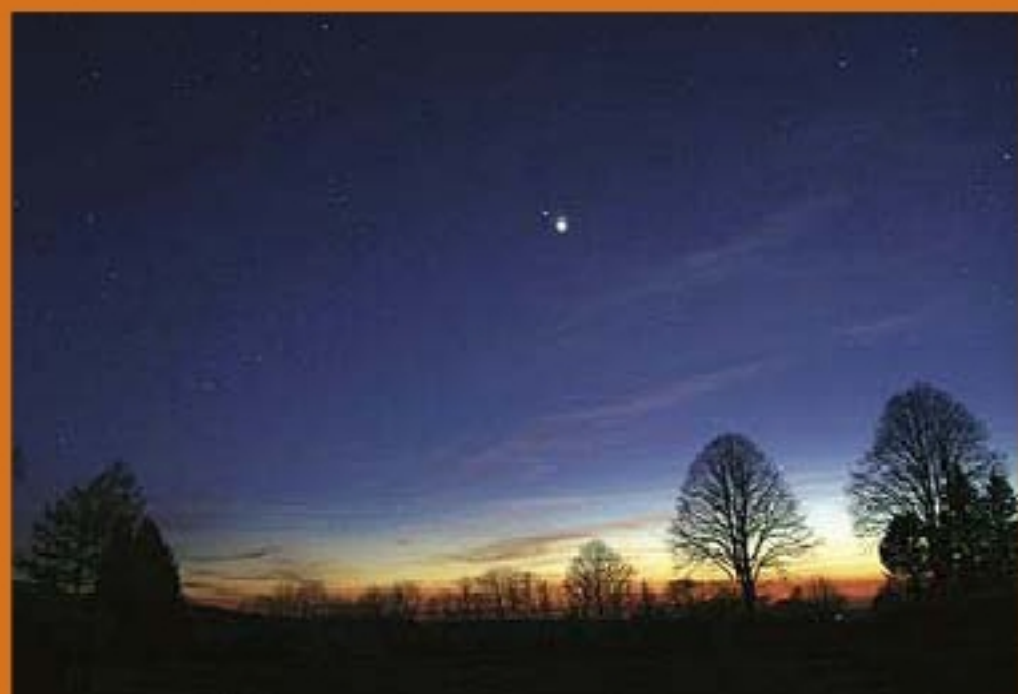
Carte exacte le 13 à 23 heures

SUD

À NE PAS MANQUER... LE 27

C'est au-dessus de l'horizon sud-est que la rencontre aura lieu: Vénus et Saturne serrées l'une contre l'autre dans le ciel de l'aube. Cette conjonction sera visible à l'œil nu et aux jumelles. Un petit instrument grossissant une cinquantaine de fois, offrira un spectacle rare: deux planètes, visibles dans le même champ, Vénus, petit globe jaune, et Saturne avec ses anneaux et ses satellites... Un rapprochement apparent seulement car Vénus se trouvera à 210 millions de kilomètres et Saturne, à 1,6 milliard de kilomètres.

< Dans le ciel de l'aube, la rencontre, rare, de Saturne et de Vénus (la plus brillante)...





▲ Les quatre étoiles brillantes du carré de Pégase forment un quadrilatère bien visible à l'œil nu.

LE GRAND CARRÉ DE PEGASE

Le grand carré de Pégase est l'une des figures célestes les plus faciles à reconnaître dans le ciel de l'hémisphère Nord. Ses quatre brillantes étoiles, qui dessinent un quadrilatère régulier, sont visibles à l'œil nu, même en pleine ville ou au clair de lune. Mais seules trois étoiles du grand carré appartiennent réellement à la constellation de Pégase : Scheat, située à 200 années-lumière, Algenib (à 330 années-lumière) et Markab (à 140 années-lumière). La quatrième étoile, Alpheratz (située à 97 années-lumière), se trouve dans la constellation d'Andromède. Le grand carré de Pégase est visible, non loin du zénith, entre 22 h et 23 h.



tous les samedis et sur
www.france-info.com

Retrouvez la
chronique
"Du côté des
étoiles" sur
France Info

**MA MAISON
MÉRITE DU CUIVRE**

**Ne gaspillez
pas votre
énergie.
Demandez
simplement
du cuivre.**

Faire confiance au cuivre, c'est économiser, tout en se simplifiant la vie. Le cuivre offre sécurité, longévité et fiabilité ainsi qu'une excellente efficacité énergétique, ce qui en fait la solution idéale pour les réseaux de canalisations sanitaire et de chauffage. Vous recherchez un matériau qui réduira votre consommation d'énergie ? **Rendez-vous sur :**

www.ma-maison-merite-du-cuivre.fr



CONTRE-SOMMAIRE

Petit florilège des mots de ce numéro... par A.G.

116 paniers de fruits secs p. 114	L'éclipse de 1868 p. 101
14 veinules p. 36	Les gouttes ont la vie dure p. 135
17 millions de décès p. 82	Lord Carnarvon p. 112
28 personnes p. 13	Mais de qui ? p. 118
Au crépuscule p. 112	Mer de magma p. 14
Aventure aussi audacieuse p. 108	Monopode p. 142
Beau bébé p. 140	Nasse spongieuse p. 43
Beurre des épinards p. 44	Ondes dites d'Alfvén ... p. 103
Bleu métallique p. 12	Ongles de pied p. 136
Bois de jet p. 114	Pâte visqueuse p. 101
Boulonné p. 44	Petite voix intérieure ... p. 135
Cafard vivant p. 44	Peur de trop en dire p. 79
"Circuits canoniques" ... p. 62	Picotements p. 133
Cœur arraché, etc. p. 20	Plaies de tous les jours . p. 38
Corbeau p. 20	Poirot p. 82
Coup de blues p. 76	Prouesse incroyable p. 44
Créature p. 100	Quatre lits p. 114
Cruel p. 134	Quelque chose cloche ... p. 77
Dans le film <i>Terminator</i> p. 43	Remuer la queue p. 109
Déesse Hathor p. 115	Rhode Island p. 13
Echec terrible p. 78	Sandales en papyrus ... p. 114
Effets diabétogènes p. 85	Se moquer des jugements péremptaires p. 118
En peau de léopard p. 114	S'il vient du ciel p. 22
Enfance perdue p. 106	Silence inhabituel p. 112
Feuilles d'or p. 112	Silicatéines p. 46
Formule de Beynes..... p. 49	Termes kabbalistiques . p. 50
French paradox p. 84	Tête qui se déplace p. 127
Gènes Hox p. 109	Tout imaginer p. 46
Guérir les rongeurs p. 35	Toutes pillées p. 112
Halogénure d'argent p. 142	Toutes pillées p. 112
Infaisable p. 54	Travail de nuit p. 37
Injecté dans le nez p. 35	Une ombre gigantesque p. 100
J'ai commencé à rêver .. p. 46	Vallée de la mort p. 27
Jeunesse éternelle p. 109	Viscères momifiés p. 114
Jour de Mercure p. 104	Voleurs p. 112
Juvenilisation p. 108	Young Lady p. 120
Le grand carré p. 145	Zéro papier p. 124
Le temps d'une vie p. 108	

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Philippe Chambon, Grégoire Boullier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEF DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités)

CHEF DE RUBRIQUE

Caroline Tourbe (médecine)

RÉDACTEURS

Bisa Abdoun, Boris Bellanger, Germain Chambost,
Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Emilie
Rauscher, Muriel Valin

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Glock

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1^{re} maquettiste),
Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),
Clémence Gérard ; Emmanuel Jullien
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, S. Barge, K. Bettayeb, J.-C. Béchet,
P.-Y. Bocquet, J. Bolle, E. Bonnet-Vidal,
B. Bourgeois, L. Bouysou, S. Brunier,
L. Cavichioni, G. Cirade A. Debroise, O. Donnars,
E. Doray, S. Fay, V. Fitas, F. Gracci, P. Grisot,
M. Grousson C. Hancock, R. Ikonicof,
J. Jongwane, M. Kontente, A. Laymand,
P. Lefevre, V. Lépine, C. Martin, J. Michaux,
E. Monnier, B. Rey, J.-M. Sabatier, G. Siméon,
E. Thierry-Aymé

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

DIFFUSION

Jean-Charles Guérault (directeur diffusion),
Siham Daassa (responsable diffusion marché)

MARKETING

Claire Leprovost (responsable marketing),
Sarah Bordessoules (responsable promotion),
Michèle Guillet (chargée de promotion),
Nathalie Carrère (abonnements)

PUBLICITÉ

Valérie Camy (directrice exécutive), Francesca
Colin (directrice commerciale), Valérie Leclère
(directrice de publicité), Virginie Commun, Lionel

Dufour (commerciaux), Sylvie Angerville
(assistante), Sabrina Rossi-Djenidi, Stéphanie
Guillard, Angélique Consoli (planning), Stéphane
Durand (trafic), Jean-Jacques Benezech, Grégory
Gounse, Anne-Sophie Chauvière (opérations
spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD (infododan@
publieurope.com - 44 (0)20 7927 9800

Allemagne : Publieurope Munich (infomunich@
publieurope.com - 0049 89 2908150);

Suisse : Publieurope Lausanne (infolausanne@
publieurope.com - 0041 21 323 3110);

Espagne : Publimedia Madrid (infomadrid@
publim-gestion.es - 0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Gérard Greck, Valérie Bruneau, Nathalie Lemaure

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon, Murielle Luche

EDITEUR : Mondadori Magazines France

Siège social : 8, rue François-Ory

92543 Montrouge Cedex

PRÉSIDENT ET

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Ernesto Mauri

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : Mondadori Printing S.p.A.,

Via Luigi e Pietro Pozzoni, 11

24034 Cisano Bergamasco (Bergamo)

N°ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 7977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 € ;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

DÉPÔT LÉGAL novembre 2012

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail : relations.clients@mondadori.fr

Par téléphone : 01 46 48 48 96.

Par courrier : Science & Vie Abonnements

B341, 60643 Chantilly Cedex.

Par internet : <http://www.kiosquemag.com>

Etats-Unis et Canada : Express Mag, Tél. : 1 800

363-1310 (français) et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50 - mondadori-

suisse@edigroup.ch. Belgique : Edigroup Belgique,

070 233 304 - mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abon-

nement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre

dernier envoi. Les noms, prénoms et adresses sont

communiqués à nos services internes et organismes

liés contractuellement avec S&V sauf opposition

motivée. Les informations pourront faire l'objet

d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre

légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue François-Ory,

92543 Montrouge Cedex.

Par mail : sev.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES ET VPC

tél. : 01 46 48 48 97

relations.clients@mondadori.fr



EN KIOSQUE CE MOIS-CI





TOUTES LES SCIENCES SONT SUR FRANCE CULTURE

Rendez-vous avec les sciences chaque jour à 14h.

L'actualité scientifique

Continent sciences / Stéphane Deligeorges
14h-15h - **lundi**

La médecine

Révolutions médicales / René Frydman
14h-15h - **mardi**

La géographie

Planète terre / Sylvain Kahn
14h-14h30 - **mercredi**

L'archéologie

Le Salon noir / Vincent Charpentier
14h30-15h - **mercredi**

L'histoire des sciences

La Marche des sciences / Aurélie Luneau
14h-15h - **jeudi**

Science et Société

Sciences publiques / Michel Alberganti
14h-15h - **vendredi**

franceculture.fr

en partenariat avec

SCIENCE & VIE





SHIFT_

NISSAN
LEAF

- 100 % électrique
- Zéro Emission
- Système de navigation CARWINGS

zero Emission⁽²⁾

CONDUISEZ AUJOURD'HUI LA VOITURE DE DEMAIN.



NISSAN LEAF. 100 % ÉLECTRIQUE.

À partir de 299€/mois⁽¹⁾ et garantie 5 ans offerte⁽³⁾

Location longue durée sur 37 mois avec un premier loyer de 5 000 € (bonus de l'Etat de 7 000 € déduit).

L'innovation selon Nissan, c'est de combiner la technologie 100 % électrique avec un système de télématique embarqué : CARWINGS. A bord, cette ingénieuse innovation vous indique la borne de recharge la plus proche. À distance, elle vous permet de programmer la température de votre Nissan LEAF depuis votre téléphone⁽⁴⁾. Avec Nissan LEAF, découvrez aujourd'hui de quoi demain sera fait.

*Visez la publicité



Checkez cette annonce avec votre application
MyTF1 et jouez avec la Nissan LEAF.



Nissan. Innovation that excites.

CHANGER_. Nissan. Innover autrement. ⁽¹⁾ Exemple pour une Nissan LEAF avec option peinture métallisée en Location Longue Durée sur 37 mois pour un kilométrage maximum de 45 000 km avec un 1^{er} loyer majoré de 12 000 € suivi de 36 loyers de 299 €. Le bonus de 7 000 € sera déduit de votre 1^{er} loyer majoré. Restitution du véhicule chez votre concessionnaire en fin de contrat. Offre valable sous réserve d'acceptation par Diac - S.A. au capital de 61 000 000 € 14, avenue du Pavé Neuf - 93160 Noisy-le-Grand - SIREN 702 002 221 RCS Bobigny. ⁽²⁾ Zéro émission de CO₂ à l'utilisation, hors pièces d'usure. Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable pour la Location Longue Durée d'une Nissan LEAF neuve identifiée, commandée et livrée, du 01/09/2012 au 31/12/2012 chez les Concessionnaires participants. ⁽³⁾ L'extension de Garantie Nissan 5* (Extensions de deux ans au-delà de la garantie constructeur de 3 ans, limitée à 100 000 km) est un produit d'assurance proposé par Nissan International Insurance Ltd, No.2 Portomaso Marina, The Quay, Portomaso STJ 4011, Malte. ⁽⁴⁾ Disponible sur les téléphones mobiles compatibles disposant d'une connexion Internet. Enregistrement ORIAS N° 10053158. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 €, RCS Versailles B 699 809 174 - Z.A. du Parc de Pissaloup - 8, avenue Jean d'Alembert - 78194 Trappes Cedex.